

الألكترونيات في خدمة التطبيقات الكهربائية



تأليف: نويل م. هوريس

الالكترونيات في خدمة التطبيقات الكهربائية

تأليف

نويل م . موريس

ترجمة

الدكتورة سميرة رستم

قسم الكهرباء - كلية التكنولوجيا
جامعة حلوان
جمهورية مصر العربية

مراجعة

الدكتور محمد لطفى السيد

عميد كلية التكنولوجيا
جامعة حلوان
جمهورية مصر العربية

دار ماكجروهيل للنشر (المملكة المتحدة) ليمتد

لندن . نيويورك . سانت لويس . سان فرانسيسكو . أوكلاند . بيروت .
بوجوتا . دوسلدورف . جوهانسبرج . لشبونة . لوسيرن . مدريد .
مكسيكو . مونتريال . نيودلهي . بنما . باريس . سان جوان . ساوباولو .
سنغافورة . سيدنى . طوكيو . تورنتو .

نشر بمعرفة
دار كتب ماكجروهيل (المملكة المتحدة) ليمتد
ميدنهد . بركتشاير . انجلترا

حقوق التأليف ١٩٧٦ . دار نشر كتب ماكجروهيل (المملكة المتحدة) ليمتد
جميع الحقوق محفوظة

Electronics For Works Electricians

Noel M. Morris

الطبعة العربية ١٩٧٨ . تصدر بالتعاون مع مؤسسة الاهرام بالقاهرة .

لا يجوز نشر أى جزء من هذا الكتاب أو اختزان مادته بطريقة الاسترجاع أو نقله على أى نحو أو بأى طريقة سواء كانت اليكترونية أو ميكانيكية أو بالتصوير أو بالتسجيل أو خلاف ذلك الا بموافقة الناشر على هذا كتابة ومقدما.

07 084295 7

المحتويات

مقدمة :

الفصل الاول : دوائر التيار المستمر

١	١ — ١	طبيعة التيار الكهربى
٣	٢ — ١	أشباه الموصلات
٥	٣ — ١	الكميات الكهربائية
٦	٤ — ١	مضاعفات وجزئيات الكميات الكهربائية
٧	٥ — ١	توصيل المقاومات على التوالى
٩	٦ — ١	توصيل المقاومات على التوازى
١١	٧ — ١	مصادر الجهد والتيار
١٤	٨ — ١	اصطلاحات الضغط والتيار المستخدمة فى الدوائر الكهربائية

الفصل الثانى : المقاومات

١٦	١ — ٢	المقاومات الثابتة
٢٢	٢ — ٢	قيم المقاوم المفضلة
٢٤	٣ — ٢	الرموز الاصطلاحية لالوان المقاوم
٢٦	٤ — ٢	المقاومات المتغيرة ومقياس الجهد (بوتنشيو متر)
٣١	٥ — ٢	المقاومات الحرارية [الترمستور]
٣٣	٦ — ٢	المقاومات تابعة الجهد

الفصل الثالث : المكثفات

٣٤	١ — ٣	فكرة عمل المكثف
٣٥	٢ — ٣	وحدات السعة الكهربائية
٣٦	٣ — ٣	سمحية المواد العازلة
٣٧	٤ — ٣	سعة المكثفات متوازية الالواح
٣٨	٥ — ٣	تيار الشحن والتفريغ
٤١	٦ — ٣	توصيل المكثفات على التوازى
٤٢	٧ — ٣	توصيل المكثفات على التوالى

٤٣	٣ - ٨ الدائرة المكافئة للمكثف
٤٤	٣ - ٩ أنواع المكثفات
٤٩	٣ - ١٠ الرموز الاصطلاحية للالوان والحروف للمكثف
٤٩	٣ - ١١ الثابت الزمنى للدائرة السعوية
٥٢	٣ - ١٢ الاسلوب الفنى للتشكيل الموجى - المفاضلات والمكاملات
٥٥	٣ - ١٣ دوائر المفاضل والمكامل المكونة من RC
٥٥	٣ - ١٤ المكثفات فى دوائر التيار المتردد
٥٦	الفصل الرابع : ملفات المحاثة
٥٦	٤ - ١ التشغيل والتركيب
٥٧	٤ - ٢ المواد المغنطيسية
٥٩	٤ - ٣ مواد الحجب المغناطيسى
٥٩	٤ - ٤ القوة الدافعة الكهربائية المستحثة ذاتيا (القوة الدافعة الكهربائية المعارضة) فى الملف
٦٠	٤ - ٥ ازدياد واهمحلل التيار فى دائرة محاثه
٦٣	٤ - ٦ دوائر RL التفاضلية والتكاملية
٦٤	٤ - ٧ ملفات المحاثة فى دوائر التيار المتردد
٦٥	الفصل الخامس : الجهد المتردد والتيار المتردد
٦٥	٥ - ١ الاشكال الموجية المترددة
٦٩	٥ - ٢ القيمة المتوسطة للموجة المترددة
٧٠	٥ - ٣ قيمة جذر متوسط المربعات أو القيمة الفعالة للموجة المترددة
٧٠	٥ - ٤ بيان علاقة الطور
٧٣	٥ - ٥ اختلاف زاوية الطور
٧٤	٥ - ٦ جمع الموجات الجيبية
٧٥	٥ - ٧ التوافقيات
٧٧	الفصل السادس : دوائر التيار المتردد
٧٧	٦ - ١ المقاومة فى دائرة التيار المتردد
٧٨	٦ - ٢ المحاثة فى دائرة التيار المتردد
٨١	٦ - ٣ المكثف فى دائرة التيار المتردد

٨٣	٤ - ٦ دوائر التوازي المكونة من LC
٨٦	٥ - ٦ دائرة الرنين المتصلة على التوالي
٨٩	٦ - ٦ مقارنة رنين التوازي ورنين التوالي
٨٩	٦ - ٧ معاوقة دوائر التيار المتردد
٩٠	٦ - ٨ عرض النطاق الترددي لدائرة رنين
٩٢	٦ - ٩ القدرة المستهلكة في دائرة تيار متردد
٩٣	٦ - ١٠ الديسيبل

الفصل السابع : المحولات

٩٥	٧ - ١ فكرة عمل المحول
	٧ - ٢ المحولات متعددة اللفات والمحولات ذات نقطة التفرع المتوسطة
٩٩	٧ - ٣ أنواع المحولات
١٠١	٧ - ٤ المحول كنبطة لمواصلة المعاوقة
١٠٣	٧ - ٥ دوائر المحولات تحت الاحوال العابرة

الفصل الثامن : وحدات دايود الجوامد

١٠٦	٨ - ١ خواص الدايدود
١٠٨	٨ - ٢ انواع الدايدود
	٨ - ٣ وصلات أشباه الموصلات الثنائية (وحدات الدايدود)
١٠٨	٨ - ٤ دراسة خواص وصلات الدايدود بالنسبة للتأثيرات الحرارية
١١٢	٨ - ٥ دوائر المقوم أحادي الطور
١١٢	٨ - ٦ مرشحات الموجات
١١٩	٨ - ٧ دوائر المقومات متعددة الطور
١٢١	٨ - ٨ منحنيات العلاقة بين القدرة الكلية المبذورة ودرجة الحرارة المحيطة
١٢٤	٨ - ٩ وقاية الوصلات الثنائية
١٢٥	٨ - ١٠ وحدات دايود زينار
١٢٧	٨ - ١١ دايود الانهيار مزدوج الاتجاه (دايك)
١٣٠	

١٣٢ الفصل التاسع : وحدات الترانزستور

- ١٣٢ ٩ — ١ انواع الترانزستور
- ١٣٢ ٩ — ٢ وحدات وصلة الترانزستور ثنائى القطب
- ١٣٤ ٩ — ٣ عمل وصلة الترانزستور
- ١٣٦ ٩ — ٤ خواص وصلة الترانزستور ذات الباعث المشترك
- ١٤٠ ٩ — ٥ توصيلة القاعدة المشتركة
- ١٤١ ٩ — ٦ توصيلة الجمع المشترك
- ١٤١ ٩ — ٧ اقصى قدرة مبدة ومنحنيات العلاقة بين القدرة الكلية المبدة ودرجة الحرارة المحيطة
- ١٤٢ ٩ — ٨ ترانزستورات التأثير المجالى
- ١٤٢ ٩ — ٩ ترانزستورات التأثير المجالى ذوات البوابة الموصلة
- ١٤٢ ٩ — ١٠ ترانزستورات التأثير المجالى ذى البوابة المعزولة
- ١٤٥ ٩ — ١١ ترانزستور احادى التوصيل
- ١٤٨ ٩ — ١٢ الترانزستور احادى التوصيل القابل للبرمجة
- ١٤٩ ٩ — ١٣ نظم ترقيم النبيلة

١٥٣ الفصل العاشر : الالكترونيائ الضوئية

- ١٥٣ ١٠ — ١ الطيف الكهرومغناطيسى المرئى
- ١٥٤ ١٠ — ٢ خلايا الانبعاث الضوئى (الخلايا الضوئية)
- ١٥٦ ١٠ — ٣ خلايا التوصيل الضوئى
- ١٥٩ ١٠ — ٤ وحدات الدايود الضوئية
- ١٥٩ ١٠ — ٥ الترانزستور الضوئى
- ١٦٠ ١٠ — ٦ وحدات الثايرستور الضوئية
- ١٦١ ١٠ — ٧ خلايا الجهد الضوئية او الخلايا الشمسية
- ١٦١ ١٠ — ٨ نبائط الانبعاث الالكترونى بتأثير الضوء
- ١٦١ ١٠ — ٩ ادوات عرض الكاثود البارد (الغازية)
- ١٦٢ ١٠ — ١٠ فتائل عرض الارقام

- ١٠ — ١١ دايود الانبعاث الضوئي ١٦٤
 ١٠ — ١٢ وحدات عزل التقارن الضوئي ١٦٧
 ١٠ — ١٣ وحدات الدايدود الفسفوري ١٦٨
 ١٠ — ١٤ مابين السائل البلوري ١٦٨

١٧٠ الفصل الحادى عشر : المكبرات والدوائر المنطقية الاساسية

- ١ — ١ أساس المكبرات ١٧٠
 ١١ — ٢ مكبر أساسى من نوع الباعث المشترك ١٧١
 ١١ — ٣ قواعد سهلة وواضحة لحساب قيم مكونات الدائرة ١٧٦
 ١١ — ٤ الاستقرار الحرارى للمكبرات ١٧٨
 ١١ — ٥ مكبرات ترانزستور التأثير — المجالى ١٨٢
 ١١ — ٦ عرض النطاق التردد للمكبر ١٨٣
 ١١ — ٧ مكبر موالف ١٨٦
 ١١ — ٨ مكبرات القدرة ١٨٦
 ١١ — ٩ الترانزستور كمفتاح ١٩١
 ١١ — ١٠ الدائرة الأساسية لمفتاح ترانزستور ١٩٢
 ١١ — ١١ الدلالة الثنائية ١٩٤
 ١١ — ١٢ بوابة اللاسماح NOT المنطقية ١٩٤
 ١١ — ١٣ بوابة «و» (AND) وبوابة « أو » (OR) ١٩٥
 ١١ — ١٤ بوابتى NAND و NOR ١٩٦
 ١١ — ١٥ شبكة الذاكرة للترانزستور (نطاق S-R) ١٩٩

٢٠١ الفصل الثانى عشر : الالكترونيات الدقيقة والدوائر التكاملية

- ١٢ — ١ الدوائر الفشائية ٢٠١
 ١٢ — ٢ الدوائر التكاملية ذات القطعة الواحدة ٢٠٢
 ١٢ — ٣ صنع الدائرة المتكاملة ثنائية القطب ٢٠٤
 ١٢ — ٤ تصنيع الدوائر التكاملية من اشباه الموصلات الاكس معدنية ٢٠٩
 ١٢ — ٥ تجبيع الدائرة المتكاملة ٢٠٩

- ١٢ — ٦ دوائر المقياس المتوسط المتكاملة
والمقياس المكبر للدائرة التكاملية ٢١٠

٢١١ الفصل الثالث عشر : مكبرات التغذية المرتدة والمذبذبات

- ١٣ — ١ التغذية المرتدة السالبة والموجبة ٢١١
١٣ — ٢ أساس عمل مكبرات التغذية المرتدة السالبة ٢١١
١٣ — ٣ الانواع الاساسية لمكبر التغذية المرتدة ٢١٥
١٣ — ٤ سمات مكبرات التغذية المرتدة السالبة
١٣ — ٥ مكبرات تابع الباعث وتابع المصدر ٢١٩
١٣ — ٦ مكبر شطر الطور ٢٢٢
١٣ — ٧ التغذية المرتدة الموجبة واللا استقرارية ٢٢٣
١٣ — ٨ دوائر مذبذبات المقاومات والمكثفات ٢٢٥
١٣ — ٩ دوائر مذبذبات المحاثات والمكثفات ٢٢٧
١٣ — ١٠ المذبذبات متعددة التوافقيات غير المستقرة ٢٢٩
١٣ — ١١ مولدات النبضات ٢٣١

٢٣٤ الفصل الرابع عشر : دوائر المكبر التشغيلي

- ١٤ — ١ ما هو المكبر التشغيلي ٢٣٤
١٤ — ٢ المكبر العاكس أو مغير الاشارة ٢٣٨
١٤ — ٣ مكبر جمع ٢٤٠
١٤ — ٤ دائرة تابعة الجهد ٢٤١
١٤ — ٥ المكبر الغير عاكس ٢٤٢
١٤ — ٦ مكبر تفاضلي أو مكبر فرقى ٢٤٣
١٤ — ٧ مقارن للجهد ٢٤٤
١٤ — ٨ دوائر التكامل الالكترونية ٢٤٦
١٤ — ٩ معادلة التردد للمكبرات التشغيلية ٢٤٨

الفصل الخامس عشر : مصادر القدرة ثابتة الجهد

٢٤٩ والكرونيات القوى الكهربائية

- ١٥ — ١ الحاجة الى مصادر قدرة ذات جهد ثابت ٢٤٩

٢٤٩	١٥ — ٢	فكرة عمل منظم التوالى للجهد
٢٥٠	١٥ — ٣	مرجع مصدر الجهد
٢٥١	١٥ — ٤	نبيطة التحكم الموصلة على التوالى
٢٥١	١٥ — ٥	منظم جهد موصل على التوالى
٢٥٣	١٥ — ٦	منظمات التوالى للوقاية من تجاوز التيار وتجاوز الجهد عند الخرج
٢٥٥	١٥ — ٧	وحدات الثايرستور
٢٥٥	١٥ — ٨	الثايرستور عكسى الاعاقة
٢٦٠	١٥ — ٩	الدوائر الاساسية للثايرستور
٢٦٣	١٥ — ١٠	نظام للتحكم فى سرعة المونور الجامع
٢٦٥	١٥ — ١١	دائرة قنطرية ثلاثية الطور يمكن التحكم فيها
٢٦٦	١٥ — ١٢	الثايرستور ثنائى الاتجاه او التراك
٢٦٨	١٥ — ١٣	دائرة التراك احادية الطور
٢٧٠	١٥ — ١٤	التحكم فى تفجير الاشعال
٢٧١	١٥ — ١٥	وحدات الثايرستور العاكسة
٢٧٢	١٥ — ١٦	محولات (مغيرات) التردد

٣٧٣ الفصل السادس عشر : معدات الاختبار

٣٧٣	١٦ — ١	المعدات المطلوبة فوق منضدة الاختبار
٢٧٤	١٦ — ٢	اجهزة قياس الملف المتحرك متعددة المدى
٢٨١	١٦ — ٣	اجهزة الفولتميتر الالكترونية
٢٨٢	١٦ — ٤	مرسومات اشعة الكاثود للتذبذبات
٢٨٧	١٦ — ٥	استخدام مرسمة التذبذبات كجهاز للقياسات
٢٨٩	١٦ — ٦	الاجهزة الرقمية لقياسات التردد والزمن
٢٩٠	١٦ — ٧	وحدات الفولتميتر والمقاييس متعددة المدى

٢٩٤ مراجع لمزيد من القراءة

٢٩٥ قائمة بالمصطلحات

٣٠٤ فهرس أبجدى

مقدمة

لم يصل التقدم التكنولوجي في شتى المجالات الى درجة من الاطراد السريع تناطح ما بلغه ذلك التقدم في مجال الهندسة الالكترونية . فلقد اصبح من الممكن ان يعول على الدوائر والنظم الالكترونية الى الدرجة التي مكنتها من ان تحل محل المعدات التقليدية في التطبيقات المنزلية والتجارية والصناعية .

وهذا الكتاب يخدم غرضين اولهما هو اعطاء معلومات خلفية لا تتضمنها في العادة مقررات الهندسة الكهربائية تخصص القوى الكهربائية . اما الغرض الثاني فهو لا يدور حول المعلومات الخاصة بأنواع ومدى المكونات والدوائر المستخدمة في التطبيقات العملية فحسب . بل انه يدور أيضا حول فلسفة التصميم الاساسية للدوائر الشائعة وأينما كان ذلك ممكنا ، فلقد استخدمت الأمثلة لتوضيح كل النقاط عند ظهورها . ولقد حاولت الى النهاية ان أحقق توازنا بين الغرضين المتتامين للتدريب والتعليم . ذلك ان كليهما أمر حيوي اذا مادعا الامر الى أن يحدد المشتغلين بالتطبيقات الكهربائية موضع الاعطال في المعدات الالكترونية لاصلاحها ولتفهم الاسباب التي أدت الى حدوثها .

ولقد أدت التطورات لنبائط أشباه الموصلات الى ادخال وانتشار المعدات الالكترونية في المنزل والمكتب والمصنع . ولسوف نركز في هذا الكتاب من البداية الى النهاية على كيفية استخدام نبائط أشباه الموصلات كوحدات الترانزستور ونبائط التأثير — المجالي ووحدة التايرستور والترايك . ويمكن تقسيم الكتاب بصفة اجمالية الى أربعة اجزاء هي :

القواعد الاساسية والنبائط (الفصول من ١ — ١٠) .

الدوائر الالكترونية (الفصول من ١١ — ١٤) .

مصادر القدرة الالكترونية والكترونيات القوى الكهربائية (الفصل الخامس عشر) .

معدات الاختبار (الفصل السادس عشر) .

ففى الابواب العشرة الاولى ، تمت تغطية نظريات التيار المتردد والتيار المستمر ، مع النبائط المستخدمة فى الدوائر الالكترونية . وتتراوح هذه النبائط ابتداء من المكونات التى لا يمكن الاستغناء عنها مثل المقاسومات والكثفات والملفات حتى العناصر الالكترونية الأكثر تعقيدا والتى تشمل وحدات وصلات الترانزستور ثنائى القطب ، وترانزستور التأثير — المجالى ودايود القذف الضوئى ومبين السائل البلورى والترانزستور أحادى التوصيل والترايك .

ولقد خصصت الفصول من ١١ — ١٤ ، شاملة ، لكيفية عمل الدوائر الالكترونية وهى تشمل مكبرات الترانزستور ومكبرات التغذية المرتدة والمذبذبات ودوائر المكنر التشغيلى . وفى الحقيقة ، توضع المكبرات التشغيلية عند تلك المنزلة من الاهمية فى الالكترونيات والتى دعت الى تخصيص باب كامل لها . ولقد أصبح الحاسب الالكترونى فى وقتنا الحاضر واحدا من أكثر المعدات الالكترونية بروزا ، فالحاسبات الرخيصة أصبحت ميسرة بسبب التقدم فى فن صناعة (تكنولوجيا) الدائرة المتكاملة ذات القطعة الواحدة مصحوبا بالتقدم فى الدوائر الالكترونية المنطقية . هذا وتقدم الدوائر المنطقية فى الفصل الحادى عشر ويركز الفصل الثانى عشر على تكنولوجيا الدائرة المتكاملة ذات القطعة الواحدة .

ويتم توضيح مصادر القدرة الالكترونية اللازمة لنوعى « التيار الخفيف » و « التيار الثقيل » فى الفصل الخامس عشر . ولقد تضمنت هذه المصادر ، مصادر القدرة ثابتة الجهد التى تهيبء جهودا يمكن التحكم فيها على وجه الدقة للمعدات الالكترونية . ولقد عرض أيضا وحدات الثايرستور والترايك مع تطبيقات على التحكم فى سرعة المحركات الكهربائية وعاكسات القدرة ومغيرات التردد .

وفى النهاية ، تناقش فى الفصل السادس عشر معدات الاختبار شاملة المقاييس المتعددة المدى ومرسمات أشعة المهبط والفولتمترات الالكترونية والفولتمترات الرقمية .

وأود أن أسجل شكرى للمساعدة والمشورة الطبية خلال فترة تأليف الكتاب والتى غبرتني من السيد/ د . وانداس رئيس التدريب على وسائل الانتاج باتحاد هندسة الانتاج للأبحاث وكذلك السادة من زملائه . وبالإضافة ، أود أن أشكر القائمين بالصناعات الالكترونية لما قدموه من المعلومات القيمة المرتبطة بالدوائر والنظم المقدمة فى الكتاب .

ومن وجهة نظر شخصية ، أود أن أشكر زوجتى ، لا من أجل مساعدتها وصبرها وتفهمها أثناء الكتابة فقط وإنما بسبب الجهود المضنية التى بذلتها أثناء فترة الإعداد .

نويل . م . موريس

الفصل الأول

دوائر التيار المستمر

١-١ طبيعة التيار الكهربى

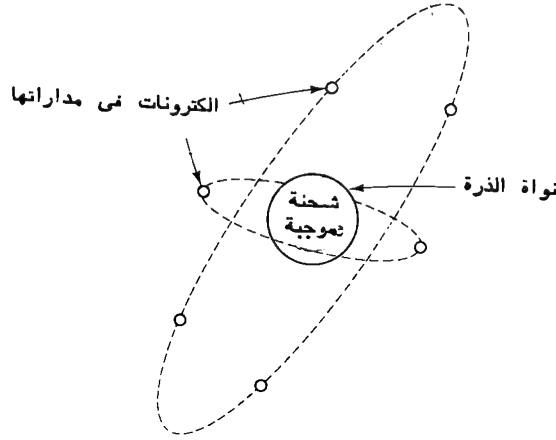
يمكن تفسير التيار الكهربى على أساس تحرك « حاملات الشحنة الكهربائية » بين نقاط فى دائرة . ولكى نفسر سريان التيار الكهربى يلزم أن نعرف شيئاً عن التركيب الذرى للمواد المستعملة فى الدوائر الالكترونية .

تتكون الذرات — من وجهة النظر الهندسية — من نوعين من « الجسيمات المشحونة » ، هما **الالكترونات والبروتونات** . وتعتبر الالكترونات أخف كثيراً من البروتونات ، إذ تبلغ كتلة الالكترون $\frac{1}{1840}$ من كتلة البروتون . كذلك فإن الشحنة الكهربائية التى يحملها الالكترون تكون سالبة ، بينما تلك التى يحملها البروتون تكون موجبة ، والشحنتان متساويتان فى المقدار ومتعاكستان فى الاتجاه . ولأن البروتونات أكثر وزناً فإنها تتركز فى مركز [أو نواة] الذرة ، كما هو مبين بالشكل ١ — ١ ، بينما تدور حولها الالكترونات فى مدارات على شكل « طبقات » أو « أحزمة » أو « أغلفة » . لتسيط ذلك يمكن تشبيه الذرة بموقف سيارات متعدد الطوابق . هنا يمكن اعتبار مستوى سطح الأرض ، أو منسوب الاسناد ، كنواة الذرة ، فى حين أن الطوابق المختلفة لركن السيارات فى هذا الموقف تمثل المدارات التى تتواجد بها الالكترونات . والالكترونات التى تشترك فى عملية التوصيل الكهربى تدور فى أقصى مدار خارجى ممكن ، يعرف باسم « المدار التكافؤى » أو « شريط الطاقة التكافؤى » .

وعندما يطبق جهد كهربى على موصل فإن الالكترونات الموجودة فى المدار التكافؤى [تسمى « الكترونات التكافؤ »] تتعرض لقوة كهربية تعمل على دفع الالكترونات تجاه القطب الموجب للمصدر . إذا كانت هذه القوة كبيرة بدرجة كافية فإنها تستطيع أن تحرر بعض هذه الالكترونات من تأثير القوى التى تربطها بالذرة ، وينشأ سريان التيار فى الدائرة من تلك الالكترونات التى تصل الى القطب الموجب للمصدر . وطبقاً للمعرف المعمول به فى الهندسة

الكهربائية « فان التيار ينساب خارجا من القطب الموجب لمصدر الازداد ، اى ان الاتجاه الاصطلاحي لانسياب التيار يكون عكس اتجاه سريان الالكترونات » عندما يسرى التيار بالطريقة الموضحة عاليه فان الالكترونات تتساق خلال الموصل تحت تأثير الجهد المسلط عليه . ونتيجة لذلك فان هذا النوع من انسياب التيار يسمى انسياب تيار الانسياب drift current flow .

واذا عزلنا ذرة واحدة نجد ان محصلة الشحنة الكهربية عليها تساوى صفرا ، لان الشحنة الموجبة على النواة تتعادل مع الشحنة السالبة للالكترونات الدائرة حولها .



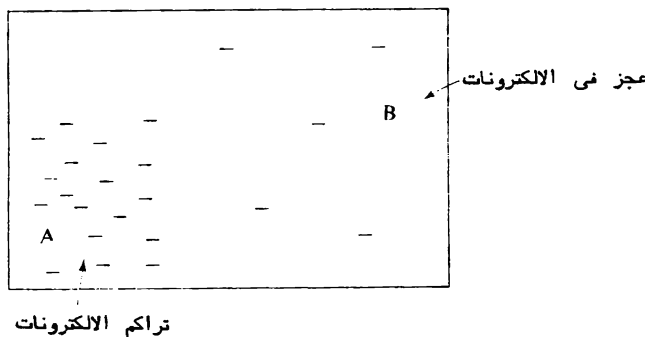
شكل ١ - ١ الالكترونات فى فلكها حول النواة

عندما يفلت احد الالكترونات من الذرة، فانه يتحول الى شحنة سالبة حرة الحركة وحيث ان الذرة قد فقدت الكترونا [شحنة سالبة] فانها تصبح موجبة الشحنة بها يعادل شحنة وحدة اليكترونية . لذا سوف تسعى كل ذرة لان تجذب لنفسها ايا من الالكترونات الحرة الحركة المتواجدة بالقرب منها . وعلى هذا الاساس يمكن اعتبار شحنة الذرة الموجبة كفقوة الكترونية ، تقوم بعمل حامل للشحنة الموجبة تماما كما اعتبر كل الكترون كحامل لشحنة سالبة . فالفقوة الكترونية اذن هى ببساطة عبارة عن غياب للالكترون من نقطة فى التركيب الذرى كان من الطبيعى ان يتواجد بها . وحيث ان الفقوة ما هى الا حاملة للشحنة الحرة الحركة تماما كالالكترون الحر الحركة ، لذا فان تعريف الفقوة كما هو موضح اعلاه يصبح على وجه التحديد غير دقيق . وعلى اى حال فالوصف السابق يخدم الغرض من تقديم المفهوم الاساسى للفقوة الكترونية .

ويعزى سبب تخطى الالكترون عن الذرة « الام » الى اكتسابه قدرا من الطاقة يكتفيه لكي يفلت من تأثير قوى الربط الذرية . ويمكن ان تأتى هذه الطاقة من عدة مصادر لعل اكثرها شيوعا هو الجو المحيط بنا [درجة

الحرارة المحيطة | وفى درجة حرارة الحجرة فان عدادا كبيرا من الالكترونات فى الموصلات الكهربائية تكون قد اكتسبت قدرا كافيا من الطاقة للانفلات من الذرات « الام » . لذلك ، فان اعدادا كبيرة من الالكترونات الحرة فى الموصلات الكهربائية تكون جاهزة للمساهمة فى التوصيل وتتحرك فى الموصل بطريقة عشوائية . وقد تتراكم هذه الالكترونات الحرة فى لحظة معينة عند احدى النقط ولتكن A فى الموصل الكهربائى المعزول كما هو موضح بالشكل | ٢ - ١ | مما ينتج عنه أن تصبح هذه النقطة سالبة الشحنة . وفى نفس الوقت ، سيتواجد عجز فى الالكترونات عند نقطة اخرى ولتكن B ، وهكذا تصبح نقطة B الموجبة الشحنة اعلى جهدا من النقطة A ، وتعرض الالكترونات عند النقطة A بالتالى لقوة جذب فى اتجاه النقطة B . عندئذ تميل الالكترونات الحرة الى التحرك بغير انتظام داخل الموصل بطريقة عشوائية . ويسمى هذا النوع من التحرك لحاملات الشحنات بتيار الانتشار . «diffusion current» وبالنسبة لاي مادة كهربائية ، يحدث الانتشار لحاملات الشحنة عندما يوجد

موصل



شكل ١ - ٢ توضيح آلية تيار الانتشار

تركيز لحاملات الشحنة الحرة فى اى جزء من المادة مما يؤدي الى تحرك الشحنات الحاملة من منطقة التركيز الاكثر الى منطقة التركيز الاقل . وفى الباب التاسع سنعرف طريقة تشغيل وصلة الترانزستور ذى القطبين بدلالة تيار الانتشار وتيار الانسياب .

٢ - ١ اشباه الموصلات

اشباه الموصلات هى مواد تقع مقاومتها بين مقاومة الموصلات الجيدة والمواد العازلة . ومواد اشباه الموصلات الشائعة الاستعمال فى تصنيع الصمامات الثنائية والترانزستور هى السليكون والجرمانيوم أما تلك التى تستخدم فى تصنيع الصمامات الثنائية الباعثة للضوء فهى زرنيخيد الجاليوم وفوسفيد الجاليوم .

واكثر المواد شبه الموصلة استعمالا هو عنصر السليكون الذى يوجد فى انواع عديدة من الصخور والاحجار فالرمال مثلا ما هى الا ثانى أكسيد السليكون .

تختزل المواد شبه الموصلة فى فرن ذى درجة حرارة عالية حتى تصبح فى صورة نقية . وينساب التيار خلال المادة شبه الموصلة النقية ، كما سبق وأوضحنا فى الجزء ١ - ١ كنتيجة للالكترونات والفجوات التى تولدت بواسطة التأثير الحرارى . فاذا ما سلط فرق جهد كهذه بين طرفى المادة شبه الموصلة فان الالكترونات الحرة تنطلق فى اتجاه القطب الموجب للمصدر بينما تنطلق الفجوات فى اتجاه القطب السالب . ويزداد عدد الالكترونات المنطلقة من الذرات الام لشبه الموصل بازدياد درجة الحرارة المحيطة . اذن فلكل قيمة معينة من فرق الجهد يزداد سريان التيار داخل المادة شبه الموصلة مع ازدياد درجة الحرارة ، أى أن ، مقاومة المادة تقل مع تزايد درجة الحرارة ، وبمعنى آخر ، فأشبه الموصلات لها معامل مقاومة حرارى سالب .

ويمكن التحكم فى المواد شبه الموصلة المستعملة فى صناعة النبايط (devices) الالكترونية بتنظيم اضافة كمية من الشوائب اثناء التصنيع علما بأن هذه الكمية تبلغ فى العادة جزءا من المليون من اجزاء المادة النقية . وبناء على نوع الشوائب المضافة لشبه الموصل يمكن توصيفه اما بالنوع الموجب (p) أو بالنوع السالب (n) وسنتناول فيما بعد شرح هذه المسميات .

فى مواد النوع الموجب ، ينتج عن الشوائب المضافة أن يزداد عدد الفجوات « الحرة » عن عدد الالكترونات « الحرة » [ونلاحظ أن النوع الموجب يعنى بالضرورة حاملات حرة للشحنات الموجبة] . لذلك عند انسياب التيار فى المادة موجبة النوع فان اكثرية هذا التيار المنساب تكون نتيجة لتحرك حاملات الشحنة الموجبة فى اتجاه القطب السالب للمصدر . وتساهم حركة الالكترونات فى اتجاه القطب الموجب للمصدر بجزء محدد جدا من القيمة الاجمالية للتيار المنساب . لذا توصف الفجوات بحاملات الشحنة ذات الاغلبية بعكس الالكترونات فهى حاملات الشحنة ذات الاقلية وذلك بالنسبة للنوع الموجب من المواد شبه الموصلة . هذا وتضاف مواد مثل الجاليوم أو الانديوم لمتزج مع السليكون النقى لانتاج النوع الموجب من أشباه الموصلات .

أما اذا اضيفت مواد مثل الزرنيخ أو الانتيوم لتختلط مع السليكون أو الجرمانيوم النقى ، لاصبح لدينا ما يسمى بالنوع السالب من أشباه الموصلات مما ينتج عنه أن تزيد عدد الالكترونات « الحرة » عن عدد الفجوات « الحرة » [ونلاحظ أن النوع السالب يعنى بالضرورة حاملات حرة للشحنات السالبة] وبالتالي فالالكترونات فى هذا النوع هى حاملات الشحنة ذات الاغلبية بعكس الفجوات التى تعتبر حاملات الشحنة ذات الاقلية . وان سريان التيار

فى المواد ذات النوع السالب يكون نتيجة لاندفاع الالكترونات فى اتجاه القطب الموجب للمصدر .

ويستعمل كلا النوعين السالب والموجب لاشباه الموصلات فى تصنيع نبط اشباه الموصلات .

١ - ٣ الكميات الكهربائية

بينما تتفق الكميات المستخدمة فى كل من الدوائر الالكترونية والدوائر الكهربائية ، الا انه يوجد فرق اساسى بينهما وهو حجم الوحدات . ففى الدوائر الكهربائية ، تقيم القدرة المستهلكة عادة بوحدات من الكيلو وات أو الميجاوات ، بينما من النادر ان يزيد مستوى القدرة فى الدوائر الالكترونية عن بضع من وحدات الوات ، بل فى أغلب الاحيان قد تكون بضعاً من وحدات الملى وات [املى وات = $\frac{1}{1000}$ وات] . وستعرف فيما يلى الكميات الكهربائية الاساسية .

كمية الكهرباء [ورمزها Q] كمية الكهرباء المارة عبر نقطة فى دائرة ما هى :

$$Q = It \quad (\text{رمز الوحدة } Q \text{ كولوم})$$

حيث I هى قيمة تيار الدائرة مقدراً بالامبير و t هو الزمن الذى يستغرقه مرور التيار مقدراً بالثانية . لذا ، اذا مر تيار قيمته ٥ ا أمبير لمدة من الزمن قدرها ٣ ثوان ، تكون كمية الكهرباء المارة بأى نقطة فى الدائرة هى

$$Q = It = 1.5 \times 3 = 4.5 \text{ كولوم}$$

الجهد الكهربائى [ورمزه E] ان فرق الجهد بين نقطتين فى دائرة يحدد فيما يعرف بقانون أوم وهو $E = IR$ فولت حيث R هى مقاومة الدائرة بين النقطتين . وتوجد صورتان أخريان لقانون أوم هما

$$R = E/I \quad \text{و} \quad I = E/R$$

الطاقة الكهربائية [ورمزها W] يمكن ايجاد الطاقة المستهلكة فى الدائرة الكهربائية بالعلاقة التالية .

$$W = EIt \quad \text{joules أو watt-seconds} \quad [\text{ ورمزه } J]$$

والكيلو وات ساعة هو الوحدة التجارية للتعبير عن الطاقة الكهربائية حيث يساوى الكيلو وات ساعة ١٠٠٠ وات ساعة أو ٣٦٠٠.٠٠٠ وات ثانية . فاذا كان لدينا

$$E = 240 \text{ V} , I = 2 \text{ A} , t = 3 \text{ S}$$

فان الطاقة المستهلكة فى الدائرة تبلغ

$$W = EIt = 240 \times 2 \times 3 = 1440 \text{ watt-seconds or joules} \\ = 0.4 \text{ watt-hours}$$

القدرة الكهربائية | ورمزها P . القدرة هى معدل استهلاك الطاقة ويمكن حسابها من العلاقة التالية :

$$P = EI = I^2 R = E^2 / R \text{ watts } | \text{ ورمزها } W$$

١ - ٤ مضاعفات وجزئيات الكميات الكهربائية

ان غالبية الوحدات الاساسية المستعملة فى هندسة القوى الكهربائية تكون اما كبيرة بدرجة غير مقبولة او اصغر بكثير من مثيلاتها فى الدوائر الالكترونية . فمثلا [الكيلو وات] وهو الوحدة القياسية للقدرة المستهلكة فى الدوائر الكهربائية يعادل مليون ضعف للـ [ملى وات] وهو الوحدة القياسية المناظرة للدوائر الالكترونية . كذلك اذا بلغت قيمة مقاومة الموصل جزءا من الاوم فانها تعتبر قيمة مرتفعة فى دوائر القوى الكهربائية ، بينما يمكن اعتبار المقاومة التى تبلغ قيمتها ١٠٠٠ اوم فى بعض الدوائر الالكترونية صغيرة . ويوضح الجدول رقم [١ - ١] بعض مضاعفات وجزئيات الوحدات الشائعة . فمثلا تعمل بعض الدوائر الالكترونية عند تردد عدة جيجا هرتز ($1 \text{ GHz} = 1000 \text{ million hertz}$) وتقاس قيم المكثفات لثل هذه الدوائر بالنانوفراد

$$(1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F} = 0.001 \mu\text{F} = 1000 \text{ pF}).$$

وفى بعض الدوائر الاخرى ، يمكن قياس تيار التسرب خلال الترانزستور بالنانو أمبير

($1 \text{ nA} = \text{one thousandth of one millionth of an ampere.}$)

وسنوضح بعضا من احجام الوحدات الاخرى فى الامثلة التالية :

مثال ١ - ١ اذا سلط جهد كهربى مقداره 10V على دائرة كهربائية مقاومتها $20 \text{ M}\Omega$ ، احسب قيمة التيار المار فى الدائرة وكذلك قيمة القدرة المستهلكة .

١ - ١ | جدول رقم ١ - ١ مضاعفات وجزئيات الوحدات

المضاعف	البادئة	الرمز
$10^{12} = 1\,000\,000\,000\,000$	tera	T
$10^9 = 1\,000\,000\,000$	giga	G
$10^6 = 1\,000\,000$	mega	M
$10^3 = 1\,000$	kilo	k
$10^{-2} = 0.01$	centi	c
$10^{-3} = 0.001$	milli	m
$10^{-6} = 0.000\,001$	micro	μ
$10^{-9} = 0.000\,000\,001$	nano	n
$10^{-12} = 0.000\,000\,000\,001$	pico	p
$10^{-15} = 0.000\,000\,000\,000\,001$	femto	f
$10^{-18} = 0.000\,000\,000\,000\,000\,001$	atto	a

الحل

$$I = \frac{E}{R} = \frac{10}{20 \times 10^6} = 0.5 \times 10^{-6} \text{ A} = 0.5 \mu\text{A} = 0.0005 \text{ mA}$$

$$= 500 \text{ nA}$$

$$P = EI = 10 \times 0.5 \times 10^{-6} = 5 \times 10^{-6} \text{ W} = 5 \mu\text{W} = 0.005 \text{ mW}$$

$$= 5000 \text{ nW}$$

مثال ١ - ٢ . احسب الطاقة المستهلكة فى مقاومة كهربائية مقدارها 100 k اذا ما سلت بين طرفيها جهد كهربائى مقداره 12 mV ولمدة 60 S .

الحل

$$I = \frac{E}{R} = \frac{12 \times 10^{-3}}{100 \times 10^3} = 0.12 \times 10^{-6} \text{ A}$$

$$= 0.12 \mu\text{A}$$

$$W = EIt = (12 \times 10^{-3}) \times (0.12 \times 10^{-6}) \times 60$$

$$= 86.4 \times 10^{-9} \text{ watt-seconds or J}$$

$$= 86.4 \text{ nJ}$$

$$= 0.0864 \mu\text{J}$$

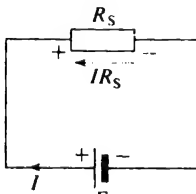
١ - ٥ توصيل المقاومات على التوالى

يقال ان المقاومات متصلة على التوالى اذا انساب نفس التيار فى كل منها كما هو مبين بشكل ١ - ٣ .

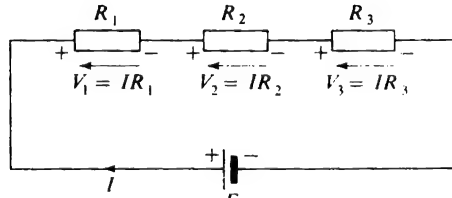
هبوط الجهد أو فرق الجهد بين طرفى المقاومة R_1 ، هو IR_1 وبين طرفى المقاومة R_2 يكون IR_2 ، بينما تكون قيمته IR_3 بين طرفى المقاومة R_3 . وتكون القوة الدافعة الكهربائية E مساوية لمجموع فروق الجهد المذكورة . وذلك بفرض ان المقاومات الثلاث الموضحة

(١ - ١)

$$E = IR_1 + IR_2 + IR_3 = I(R_1 + R_2 + R_3)$$



[ب]



[ا]

شكل ١ - ٣ دائرة تحتوي مقاومات متصلة على التوالى

بالشكل رقم ١ - ٣ | أ | لقد أبدلت بمقاومة واحدة مكافئة مقدارها R_S كما هو موضح بالشكل رقم ١ - ٣ | ب | وبشرط أن لا تتغير قيمة التيار I في كلتا الحالتين . أو بمعنى آخر

(١ - ٢)

$$E = IR_S$$

ولكى تتكافأ الدائرتان كهربائيا ، ينبغي أن تتساوى كلتا المعادلتين رقمى ١ - ١ | و ١ - ٢ | للدائرتين الكهربائيتين . أى أن

$$E = IR_S = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

(١ - ٣)

أو

$$R_S = R_1 + R_2 + R_3$$

وهكذا تبين المعادلة رقم ١ - ٣ | أن قيمة المقاومة المكافئة لدائرة تشمل مقاومات متصلة على التوالي تساوى المجموع الكلى للمقاومات المنفردة . وهكذا تكون قيمة المقاومة المكافئة أكبر من أقصى قيمة لاي من المقاومات التى تشملها هذه الدائرة .

مثال ١ - ٣ . وصلت ثلاث مقاومات على التوالي ضمن دائرة الكترونية بمصدر للجهد ضغطه 12V بحيث أصبحت قيمة التيار المار 6 mA . فإذا كانت قيمة إحدى المقاومات 1 kΩ بينما بلغ فرق الجهد بين طرفى مقاومة ثانية 3.6V . احسب القيمة العددية للمقاومة الثالثة .
الحل : الدائرة التى فى هذا المثال هى من النوع المبين فى شكل ١ - ٣ | وحيث أن قيمة التيار I تبلغ 6 mA ، فبتطبيق المعادلة ١ - ٢ | تكون المقاومة المكافئة للدائرة هى :

$$R_S = \frac{E}{I} = \frac{12 \text{ V}}{6 \text{ mA}} = \frac{12}{6 \times 10^{-3}} = 2000 \Omega$$

إذا كانت $R_1 = 1 \text{ k}\Omega = 1000 \Omega$ وإذا كان فرق الجهد بين طرفى R_2 هو 3.6V . وبما أن قيمة التيار المار تبلغ 6 mA ، لذا تكون قيمة R_2 كما يلى :

$$R_2 = \frac{3.6 \text{ V}}{6 \text{ mA}} = \frac{3.6}{6 \times 10^{-3}} = 0.6 \times 10^3 \Omega = 600 \Omega$$

والآن

$$R_S = R_1 + R_2 + R_3$$

أو

$$2000 = 1000 + 600 + R_3 = 1600 + R_3$$

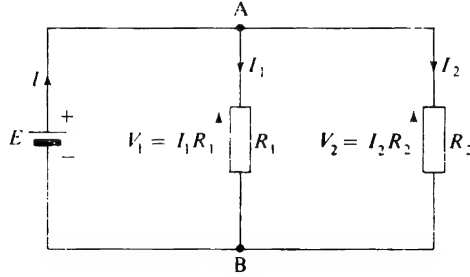
لذلك

$$R_3 = 2000 - 1600 = 400 \Omega$$

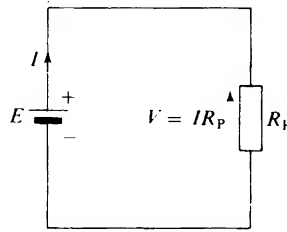
١ - ٦ توصيل المقاومات على التوازي

يلاحظ أن فرق الجهد بين أطراف المقاومات المتصلة على التوازي ثابت ولا يختلف . ففي الدائرة الموضحة بالشكل ١ - أ [١] يتساوى فرق الجهد V_1 على المقاومة R_1 مع فرق الجهد V_2 على المقاومة R_2 . ويتساوى كل من ترقى الجهد مع ضغط المصدر E . وهكذا يكون

$$E = V_1 = V_2 = I_1 R_1 = I_2 R_2$$



[أ]



[ب]

شكل ١ - أ دائرة مقاومات متصلة على التوازي

وحيث أن قيمة التيار الكلى الخارج من المنبع لا تتغير ، لذا فإن قيمة التيار المار في اتجاه التوصيلة A يتساوى مع مجموع التيارات الخارجة منها . أى أن

$$(١ - أ) \quad I = I_1 + I_2 = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} = \frac{E}{R_1} + \frac{E}{R_2} = E \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

فاذا استبدلنا المقاومين الموضحين في الشكل ١ - أ [١] بمقاوم مكافئ مقداره R_p كما هو موضح بالشكل ١ - ب [١] بحيث تتساوى قيمة التيار المار في المقاوم R_p مع قيمة التيار الكلى I والذي يغذى مجموعة التوازي الموضحة بالشكل رقم ١ - أ [١] فيكون

$$(١ - ب) \quad I = \frac{E}{R_p}$$

وحيث أن قيمة التيار الذى يغذى كل دائرة لا تتغير ، فإن

$$I = E \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{E}{R_p}$$

أى أن

$$(٦ - ١) \quad \frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

وبمعنى آخر ، تتساوى قيمة مقلوب المقاومة المكافئة لدائرة التوازي مع حاصل جمع مقلوب المقاومات كل على حدة . وينتج عن ذلك أن تقل قيمة المقاومة المكافئة لدائرة التوازي عن اصغر قيمة لاي من هذه المقاومات فى الدائرة ، فاذا اتصل مقاومان R_1 و R_2 على التوازي كحالة خاصة ، فإن المقاومة المكافئة لهما تأخذ القيمة التالية :

$$(٧ - ١) \quad R_p = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

أى = $\frac{\text{حاصل ضرب قيمة المقاومتين}}{\text{مجموع قيمة المقاومتين}}$

مثال ١ - ٤ يكون الحمل الموصل لمكبر ترانزستور من مقاوم $10 \text{ k}\Omega$ متصلة بالتوازي مع مقاوم $100 \text{ k}\Omega$. احسب المقاومة المكافئة لمجموعة التوازي هذه .

الحل . حيث ان الدائرة تحتوى على مقاومين فقط ، فانه من الممكن استخدام المعادلة [٧ - ١] لايجاد المقاومة المكافئة كما يلى :

$$R_p = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{10\,000 \times 100\,000}{10\,000 + 100\,000} = \frac{1\,000\,000\,000}{110\,000} = 9090 \Omega$$

$$= 9.09 \text{ k}\Omega$$

وبلاحظ أن قيمة R_p تقل عن اصغر قيمة لاي من المقاومين فى الدائرة

مثال ١ - ٥ . اذا مر تيار مقداره 1.1 mA فى مجموعة التوازي ، الموضحة بالمثال ١ - ٤ احسب فرق الجهد الناشئ بين طرفى المجموعة وكذلك ما تستهلكه من قدرة كهربائية .

الحل . حيث أن $R_p = 9090 \Omega$ فيكون فرق الجهد بين طرفى الدائرة

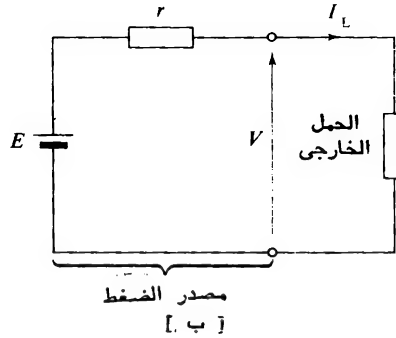
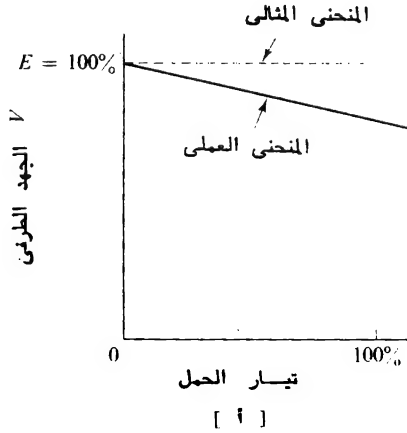
$$V = IR_p = 1.1 \times 10^{-3} \times 9090 = 10 \text{ V}$$

وتصبح القدرة المستهلكة

$$P = VI = 10 \times 1.1 \times 10^{-3} = 11 \times 10^{-3} \text{ W} = 11 \text{ mW}$$

١ - ٧ مصادر الضغط والتيار

« مصدر الضغط » هو الاسم الذي يطلق في مجال الإلكترونيات على مصادر القدرة التي تعطى جهداً يكاد يكون ثابتاً مهما كانت قيمة التيار المسحوب . ويعتبر مصدر الضغط « نموذجياً » متى انعدمت قيمة مقاومته الداخلية وبالتالي يستطيع أن يحافظ على ثبات الجهد الطرفي مهما زادت قيمة التيار المغذى للحمل ويوضح الشكل ١ - ٥ [ب] خاصية مثل هذه الدائرة



شكل ١ - ٥ [أ] خواص مصدر الضغط [ب] رسم دوائرتها

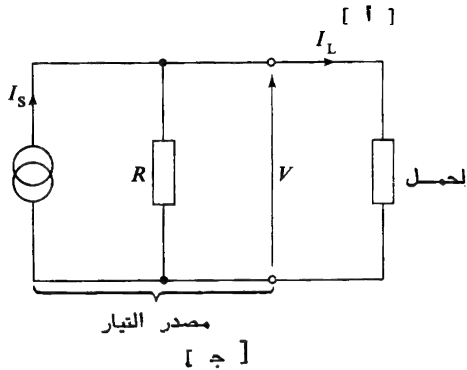
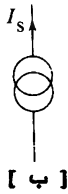
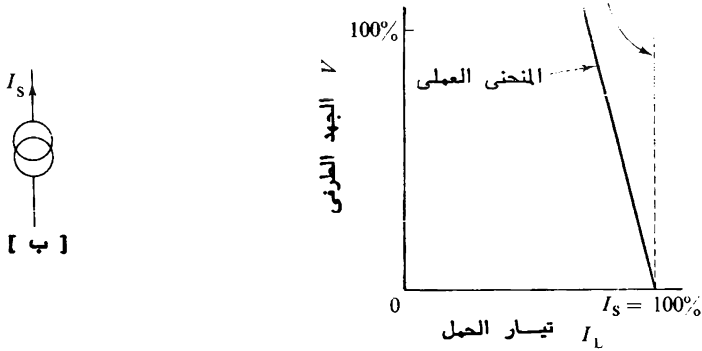
وتمتلك مصادر الضغط المستخدمة في الحياة العملية مقاومة داخلية ويقل جهد الطرفين كلما زادت قيمة التيار المسحوب . وتسمى الدائرة الكهربائية المكافئة لمثل هذا المصدر ، في بعض الأحيان بمصدر الضغط المكافئ لثيفانينز وهو مبين بالشكل ١ - ٥ [ب] ويعطى جهد الطرفين V بالمعادلة التالية

$$V = E - Ir$$

حيث تكون E هي قيمة الضغط بين طرفي الدائرة في حالة الا حمل وتكون I هي قيمة التيار المسحوب في حالة وجود الحمل بينما تكون r هي المقاومة الداخلية لمصدر الجهد ومن الضروري ان تكون أقصى قيمة لهبوط الضغط الداخلي Ir صغيرة اذا ما قورنت بقيمة E اذا ما اردنا اعتبار المصدر المغذى وكأنه « مصدر جهد » . ومن ضمن أمثلة مصادر التغذية التي تعتبر في الحياة العملية كمصادر جهد توجد الخلايا الثانوية ومولدات التيار المستمر والمتغيرات وكذلك منظمات منابع الضغط التي تعطي ضغطا خارجيا ثابتا [أنظر فصل ١٥] .

أما « مصدر التيار » فيعتبر نموذجيا متى استطاع المحافظة على ثبات قيمة التيار المغذى للحمل ، بصرف النظر عن قيمة مقاومة هذا الحمل . لذا ، فان مثل هذا المولد للتيار يستطيع من الوجهة النظرية ان يحافظ على ثبات قيمة التيار حتى اذا اصبحت مقاومة الحمل صفرية [دائرة قصر] او بلغت قيمتها $1000\text{ M}\Omega$ مثلا [دائرة مفتوحة] في الواقع [ويوضح الخط المتقطع في الشكل ١ - ٦]

المنحنى التالي



[ج]

شكل ١ - ٦ خواص مصدر التيار [ب] اصطلاح الدائرة الكهربائية التي تمثل مصدر التيار النموذجي [ج] الدائرة المكافئة لمصدر التيار المستخدم في الحياة العملية .

خواص مثل هذا المولد . ومن الصعب تنفيذ مثل هذه الدائرة من الناحية العملية ، حيث انه لابد ان تكون لديها القدرة من الناحية النظرية لاعطاء

ضغط خرج لا نهائى . وعلى أية حال فمن الممكن ان تستخدم الدوائر الالكترونية للحصول على ما يقارب الى حد كبير مثل هذه الخواص المثالية ولكن فى نطاق حدود من قيم التيار المسحوب .

ولكى يستطيع القارئ ان يدرك مضمون ما نعينه بمصدر التيار ، فربما يكون من الملائم ان نعتبره جهدا كهربائيا عاليا متصلا على التوالى بمقاومة كبيرة . فمثلا اذا كان هناك مصدر للتيار يمدنا بتيار قدره 1 mA فمن الممكن اعتباره كجهد كهربي قيمته 100 KV متصلا على التوالى مع مقاومة داخلية مقدارها $100 \text{ M}\Omega$. فاذا حدث قصر بين طرفي هذا المصدر فان تيارا كهربائيا يسرى قيمته $100 \times 10^3 / (100 \times 10^6) = 10^{-3} \text{ A}$ او 1 mA اذا تم توصيل حمل بين طرفي هذا المصدر بمقاومة قدرها 1000 فان التيار الكهربائى يتخذ القيمة التالية

$$100 \times 10^3 / (100 \times 10^6 + 10^3) \simeq 10^{-3} \text{ A}$$

ومن الواضح جدا ان القيم المذكورة اعلاه للجهد الداخلى والمقاومة غير عملية ، ومع ذلك ، فمن الممكن تصميم بعض الدوائر الالكترونية التى تتخذ ظاهريا مثل هذه القيم . ويوضح الشكل ١ — ٦ [ب] واحدا من الاصطلاحات المستخدمة لدائرة مصدر التيار ثابت القيمة .

أما الشكل ١ — ٦ [أ] فيبين خواص واحد من مصادر التيار المستخدمة فى التطبيقات العملية . وتتكون دائرته المكافئة كما هو مبين بالشكل ١ — ٦ [ج] من مصدر مثالى للتيار ثابت القيمة وقد أوصل بين طرفيه مقاومة قيمتها R . ويسمى مثل هذا النوع من الدوائر « بالدائرة المكافئة لنورتن » بالنسبة لمصدر التيار . وتكتسب بعض معدات الترانزستور والاجهزة الكهروضوئية صفات مصدر التيار بالنسبة لجزء محدد من خواصها .

وقطعا ، من الممكن اعتبار خواص جميع مصادر القوة الكهربائية اما من طراز مصادر الضغط او من مصادر التيار . وتحدد العلاقة بين مجموعتى بالدوائر المكافئة الموضحة بالشكل ١ — ٥ [ب] والشكل ١ — ٦ [ج] كما يلى :

$$R = r$$

$$I_s = \frac{E}{r} = \frac{E}{R} \quad \text{و}$$

وهكذا ، نستطيع ان نمثل بطارية ذات جهد طرفى بدون حمل مقدارها 10 v ولها مقاومة داخلية مقدارها 0.1Ω باحدى الدائرتين الموضحتين فى الشكل ١ — ٧ .

V_{CE} جهد النقطة C بالنسبة الى E ويكتب الرمز V_{CE} للشكل الموضح
 كفرق للجهد بين الطرفين C ، B حيث $V_{BE} =$ جهد نقطة C بالنسبة
 الى B = [جهد C بالنسبة الى E] - [جهد B بالنسبة الى E]

$$= V_{CE} - V_{BE}$$

لذلك . اذا كان جهد C هو +6 V بالنسبة الى E ، واذا كان جهد B
 هو +0.3 V بالنسبة الى E ، فان

$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE} = 6 - 0.3 = 5.7 \text{ V}$$

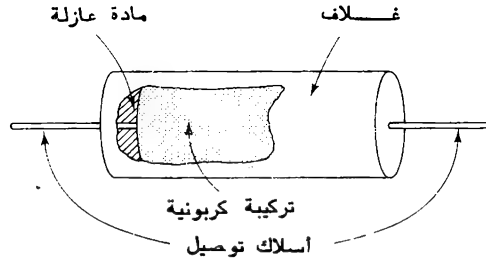
الفصل الثانى

المقاومات

تستخدم طرق كثيرة لصناعة المقاومات الثابتة والمتغيرة المستعملة فى الصناعات الالكترونية وسنوضح فيما يلى بعض الانواع الهامة منها :

١ - ٢ المقاومات الثابتة

المقاومات كربونية التركيب : تصنع المقاومات كربونية التركيب [انظر شكل ٢ - ١] بمزيج من الكربون المسحوق ومادة غير موصلة مثل مسحوق سيراميك [الفخار]



شكل ٢ - ١ مقاوم من مادة كربونية التركيب

تصب المادة بالشكل المطلوب ، والذي يكون عادة أسطوانيا ثم تجمد بالحرارة ويرش طرفا المقاومة بمعدن حتى يمكن عمل التوصيلات بالأسلاك الخارجية ، وهناك طريقة أخرى ، تتمثل فى كبس الطرفين بطاقتين معدنيتين . وفى أغلب الاحوال يطلق اسم « المقاومات الكربونية » على مثل هذا النوع من المقاومات . وقد استخدمت هذه المقاومات كربونية التركيب بكثرة ولأمد طويل فى مجال المقاومات الا أن أنواعا أخرى بدأت فى منافستها . ويتم تصنيع مثل هذه المقاومات بقيم تتراوح بين $10\ \Omega$ و $100\ M\Omega$ وتقاس قيم هذه المقاومات بعد تصنيعها وتصنف كمجموعات بقيم مفضلة [انظر

الفصل ٢ — ٢ [. وحيث أن قيمة كل مقاومة على حدة تختلف عادة عن القيمة الغالبة لكل مجموعة فانه قد اصبح من الشائع عمليا أن يحدد قيمة التفاوت المسموح به لكل مجموعة .

وهكذا ، فإن المقاومة ذات القيمة الاعتبارية المحددة بـ ١٠ أوم ، ولها تفاوت مسموح به مقداره $\pm 10\%$ تقع قيمتها الحقيقية فى هذا المدى .

$$\text{أقل قيمة} = 10 \Omega - (10\% \text{ of } 10 \Omega) = 10 - 1 = 9 \Omega$$

$$\text{أكبر قيمة} = 10 \Omega + (10\% \text{ of } 10 \Omega) = 10 + 1 = 11 \Omega$$

ومن الممكن تقبل تفاوت فى المدى من $5\% \pm$ الى $10\% \pm$ فى احوال التشغيل العادية .

أما فى الأغراض الدقيقة فينبغى تضيق هذا المدى من التفاوت المسموح به وتعتمد كمية الحرارة المسموح بها لكل مقاوم اذا مرر به تيار كهربائى على قدرته التقديرية والى حد كبير ، تعتمد القدرة التقديرية على ابعاد المقاوم حيث انها هى التى تحدد مساحة السطح المتاحة للإشعاع الحرارى .

وتبلغ القدرة التقديرية المعتادة لمثل هذه المقاومات الكربونية ما يعادل $\frac{1}{4}$ ، $\frac{1}{2}$ ، 1 ، 2 وات . ويتم تصنيع بعض منها بسعات من القدرة أكبر من التى ذكرت . ويوضح الجدول ادناه بعضا من الأبعاد المعتادة للمقاومات كربونية التركيب .

القطر (mm)	الطول (mm)	القدرة التقديرية (W)
2.5	8	$\frac{1}{4}$
4	10	$\frac{1}{2}$
6	16	1
8	18	2

ويمكن حساب اقصى قيمة للتيار الكهربائى المسموح به لكل مقاوم على حدة بمعرفة قدرته التقديرية من هذه العلاقة .

$$I^2 R = \text{القدرة التقديرية} = [\text{اقصى تيار}]^2 \times \text{المقاومة}$$

حيثُذ

$$\text{التيار} = (\text{القدرة التقديرية} / \text{المقاومة } R)$$

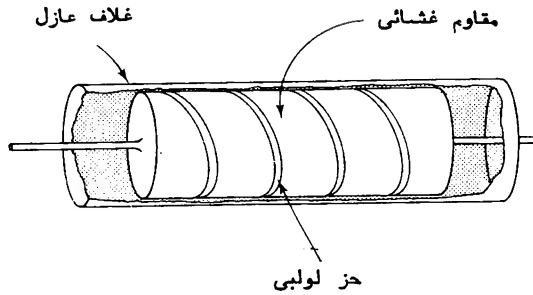
فالمقاوم 10Ω الذى تبلغ قدرته 2 W يمكن ان يتحمل تيارا بحد اقصى قدره

$$I = \sqrt{(2/10)} = \sqrt{0.2} = 0.45 \text{ A}$$

وينبغى أن يدرك القارئ أن القيمة العادية للتيار فى الدوائر التى يتم تصميمها يقل عن الحد الاقصى . ومن المعلوم أنه فى حالة التشغيل المستمر

للمقاومات الكربونية بقدرتها التقديرية فان أى زيادة فى جهد المصدر او فى درجة الحرارة المحيطة سيؤدى الى تغير منظر فى قيمة المقاومة . وعلاوة على ذلك ، فان ثبات قيم هذا النوع من المقاومات يعتبر غير مأمون على المدى الطويل ، فيمكن ان تتغير قيمة المقاومة الى ما يعادل خمسة فى المائة خلال عام واحد . ومن الممكن ان تنحرف قيمة هذه المقاومات الكربونية عن حدود التفاوت المسموح به ، اذا ما سرى بها تيار كهربائى زائد عن الحد او اذا ما تم تشغيلها فى جو شديد الحرارة . وفى بعض الاحوال ، تتغير قيمة المقاومات تغيرا طفيفا مع تغير قيمة جهد المصدر ولن يتسبب عن هذه العيوب الموضحة أعلاه أية قيود يمكن ان تحد من استخدام هذه المقاومات طالما أن تصميم الدوائر وتشغيلها قد تم على وجه صحيح . فقلة تكاليف وصغر حجم المقاومات الكربونية التركيب تميزها أساسا عن كافة الانواع الاخرى .

المقاومات الغشائية : يتطلب تصميم المقاومات الغشائية نثر غشاء (film) متجانس من مادة ذات مقاومة حول سطح قضيب اسطوانى ويمكن زيادة مقاومة أى مقاوم بقطع حز لولبى فى هذا الغشاء وبذلك يتغير شكل مسار المقاومة بين الاطراف كما هو موضح بالشكل [٢ - ٣] .



شكل ٢ - ٢ مقاوم غشائى

وتوجد ثلاثة انواع مشهورة للمقاوم الغشائى ، منها الغشاء الكربونى ، غشاء الأكسيد المعدنى ، وكذلك الغشاء المعدنى . وعموما ، فمن الممكن ان تعتبر المقاومات الغشائية مصنعة على درجة قريبة من الدقة او انها دقيقة الصنع ، ويستخدم كلا الغشائين الكربونى والأكسى معدنى بكثرة فى الأغراض العامة كنتيجة للتطور فى الانتاج الاتوماتى . مقاومات الغشاء الكربونى [مقاومات الكربون المتشقة] ويصنع هذا النوع من المقاوم بأمرار بخار الكربون المتشبع بالهيدروجين فى حالة نقية وعند درجة حرارة تبلغ حوالى 1000°C على قضبان من مادة خزفية . ويتحلل البخار [فيما يعرف بعملية التشقق] ويتكون غشاء رقيق من الكربون فوق القضبان وتصنع النهايات للتوصيلات الخارجية عند طرفى القضيب . وعندما تدعو الحاجة لمقاومات ذات خاصية عالية من الثبات فقد اعتبر مثل هذا النوع من المقاومات كبديل وحيد للمقاومات ذات السلك الملفوف . وقد اشتهرت مقاومات الغشاء الكربونى بالتالى على انها ذات قيم عالية من الثبات .

ولوقاية مقاومات الغشاء الكربونى من تلوث الجو فانه من المعتاد طلاءها بعدة طبقات من اللاكيه او بطبقة لأكيه مغطاة بشرط من البلاستيك . وتحدث تغيرات كيميائية فى الغشاء كنتيجة لجو البحر ونسبة الرطوبة العالية مما يؤدى الى تغير فى قيمة المقاومة وينبغى اتخاذ الاحتياط ايضا لعدم تشغيل المقاومات لمدد طويلة خشية أن يحدث تفاعل كيمائى بين مادة الغشاء المقاوم والطبقة الواقية . كنتيجة للتزايد الفائق فى درجة الحرارة وتعرض مقاومات الغشاء الكربونى للتآكل الالكترونى اذا ما وصلت اطرافها لضغط كهربائى مستمر مع تواجد جو رطب ، الا أن الطبقة الواقية تمنع هذا التآكل .

وتتراوح قيمة مقاومات الغشاء الكربونى عادة بين 10Ω و $10 M\Omega$ وبقدرات مقدارها $\frac{1}{2} \text{ و } \frac{1}{4} \text{ و } 1 \text{ و } 2 \text{ W}$ ويختار التفاوت المسموح به عادة لمثل هذا النوع بـ 5% ولو أنه من الممكن أيضا أن ينقص هذا التفاوت الى 1% ، 2% .

مقاومات غشاء الاكسيد المعدنى : ويطلق أيضا اسم مقاومات الغشاء الاكسيدى وهى تتكون من أكسيد القصدير المترسب حول دليل تشكيل خزفى .

تتراوح قيم المقاومات ما بين 1Ω الى $2 M\Omega$ وتتراوح قيم التفاوت المسموح به من 1% الى 5% .

ويمكن تشغيل مقاومات الغشاء الاكسيدى على درجات حرارة اعلى من التى تشغل عليها مقاومات الغشاء الكربونى ولكن بقدر أقل من الثابت . ولهذا السبب يمكن اعتبار مقاومات الغشاء الاكسيدى فى بعض الاحيان كمقاومات متعددة الاغراض طبقا لقدرتها التقديرية . فاذا حددت القدرة التقديرية لمقاومة الغشاء الاكسيدى بـ $\frac{1}{4}$ وات مثلا ، فانها تعتبر مقاومة ذات قيمة اقرب الى الدقة [أى ان مقاومتها تتغير بدرجة طفيفة مع التقدم ومع درجة الحرارة] ، اما اذا زيدت القدرة التقديرية الى $\frac{1}{2}$ وات فان المقاومة تعتبر فى هذه الحالة متعددة الاغراض . فاذا تم تشغيل هذه المقاومة بقدرة استهلاك تقارب 1 وات فانها تعتبر مقاومة قدرة .

مقاومات الغشاء المعدنى : ولمثل هذا النوع من المقاومات يتم تبخير غشاء معدنى رقيق من سبيكة النيكل والكروميوم فى العادة ، حول سطح اسطوانى عازل من مادة خزفية ، وفى جو مفرغ من الهواء . وكما يتبع فى الانواع الاخرى من المقاومات الاخرى الغشائية ، يمكن التحكم فى قيمة المقاومة بعمل قطع لولبى بالغشاء .

وتماثل المادة المقاومة فى مثل هذا النوع مقاومة السلك المستخدم فى المقاومات ذات السلك الملفوف ، ولها الخواص الهامة الاتية :

[١] تكون مقاومتها على درجة عالية من الثبات عندما يتم تشغيلها عند درجة حرارة ثابتة .

[ب] لها معامل مقاومة حرارى منخفض [م.م.ج] ، ويستحسن أن يكون معامل المقاومة الحرارى منخفضا ، حيث أنه فى هذه الحالة يكون التغير فى المقاومة ضئيلا بالنسبة لكل تغير محدد فى درجة الحرارة . ومن الممكن التحصل على مقاومات الغشاء المعدنى ذات معامل مقاومة حرارى تتراوح قيمته بين 5 الى 100 جزء من مليون لكل درجة حرارة واحدة مئوية ، بينما تبلغ قيمة هذا المعامل أكثر من 1000 جزء من مليون لكل درجة واحدة مئوية من المقاومات كربونية التركيب . وعلى هذا يتضح من الأرقام السابقة أن التغير فى المقاومة كربونية التركيب يتراوح بين عشرة أمثال الى مائتى مثل للتغير الذى يحدث للمقاومة ذات الغشاء المعدنى وذلك بالنسبة لنفس التغير فى درجة الحرارة لكل منهما .

وعلى العموم ، فإن تصنيع مقاومات الغشاء المعدنى يتم فى ثلاثة من التدرجات التالية : الطراز المقارب للدقة والطراز الدقيق والطراز المفرط فى الدقة . علما بأن هذه الأنواع الثلاثة تتدرج فى ثبات قيمة مقاومتها وفى صغر قيمة التفاوت المسموح به لكل منها . فالمقاومات ذات الطراز المقارب للدقة تعطى تفاوتاً مسموحاً به بين 0.1 الى 1 فى المائة بينما يكون التفاوت المسموح به بالنسبة للطراز المفرط فى الدقة محصوراً بين 0.001 الى 0.1 فى المائة .

مقاومات الغشاء السميك [مقاومات السيرميت] .

تصنع هذه المقاومات بأن يرسب غشاء سميك [فى العادة يبلغ سمكه مائة ضعف نظيره من مقاومات الغشاء الكربونى] مكون من خليط السيراميك والمعدن [سيرميت] حول سطح المادة السيراميكية . تسخن المقاومة فى فرن فتصبح مقاومة زجاجية ذات غشاء سميك .

عندما تصنع كل مقاومة على حدة فوق سطح اسطوانى عازل من المادة فإنها تصبح مقاومة معدنية زجاجية او مقاومة السيرميت [وكلمة سيرميت مشتقة من المقطعين الاولين لكلمتى خزف ومعدن باللغة الانجليزية] ويمكن التحكم فى قيمة مقاومة المقاوم المطلوبة بعمل قطع حلزونى فى الشريط . وعادة تقدر قيم المقاومات المصنعة فى الحدود من 10Ω الى $2.5 M\Omega$ تقديرية بما يعادل 2 W وتنتج بعض المصانع مقاوماتها بقيم تقع فى حدود أقل من المذكورة وبتقديرات تصل الى 8 وات ، وفى العادة يبلغ التفاوت المسموح به 1-5% بالنسبة لدى القدرات الأصغر بينما يصل الى 10% بالنسبة لدى القدرات الأكبر . وتكبل المقاومات بعد تصنيعها لتصبح وحدات صلبة قادرة على مقاومة الصدمات والاهتزازات أو أية تقلبات عنيفة فى البيئة المحيطة .

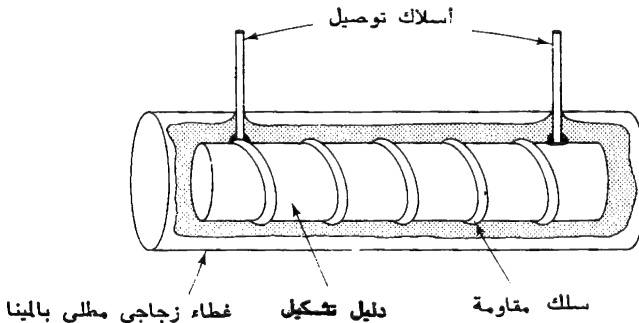
تستخدم شبكات من مقاومات الغشاء السميك فى دوائر محولات القيم الرقمية الى القيم التناظرية [انظر الفصل السادس عشر] وفى بعض

المعدات الالكترونية الاخرى وتصنع فوق سطح عازل من المادة الخزفية . وفى احدى طرق الانتاج التى تسمى طريقة « الطبع والحرق » ، يطبع الحبر والذي يدخل فى تركيبه السيرميت أو أى مادة أخرى مشابهة ، فوق السطح العازل من المادة الخزفية والتى حدد بها الشكل الهيكلى للمقاومات المطلوبة ثم تترك لتجف وبعدها تحرق فى احد الافران ومن الممكن طبع هياكل أخرى للمقاومات على نفس سطح المادة فى مرحلة لاحقة من عملية الانتاج ، على أن يستخدم حبر آخر من نوع مختلف حتى يعطى مقاومة نوعية مخالفة .

المقاومات ذات الغشاء الرقيق : تصنع مقاومات الغشاء الرقيق بترسيب المادة المقاومة ، بعد أن يتم تبخيرها فى جو مفرغ تماما من الهواء ، فوق سطح المادة العازلة ، وعادة ما تكون المادة المقاومة إما سبيكة نيكل وكروم أو سبيكة نيكل وكوبلت . ويوجد تكتيك آخر لانتاج مقاومات الغشاء الرقيق يستخدم فيه التنتالوم المطلى بالالومنيوم . ومن الممكن ضبط قيمة المقاومة بخريشة غشاء المادة . وتتراوح قيم المقاومات المنتجة بين 1Ω إلى $50\text{ M}\Omega$ مع تفاوت مسموح به يمكن اختياره فى المدى من 1-5% .

مقاومات السلك الملفوف : يصنع هذا النوع بلف عدة لفات من السلك على دليل تشكيل معزول . وتصنع مواد السلك من سبائك النيكل والكروم، التى تستخدم بكثرة ، بسبب مقاومتها النوعية المرتفعة ، ولأن معامل مقاومتها الحرارى منخفض القيمة ، كما وان هذه المواد لها مقاومة ذات درجة عالية من الاستقرار .

وتتضمن مقاومات السلك الملفوف وحدات تتع فى المدى ابتداء من مقاومات القدرة الى تلك التى يمكن ان تتخذ قيما على درجة عالية من الدقة . وقد تتراوح قيم مقاومات القدرة ذات السلك الملفوف بين بضع وحدات من الواط وعدد من وحدات الكيلو وات . ولوقاية المواد المقاومة من تأثيرات الوسط المحيط ، تغطى إما بطبقة واقية من الطلاء الزجاجى [انظر شكل ٢ - ٣] او بخلطة من الرمل والاسمنت . هذا ومن الممكن تشغيل المقاومات المغطاة بالغطاء الزجاجى حتى درجة حرارة حوالى ٥٤٥°C ، بينما يمكن تشغيل الانواع الاخرى والمغطاة بخلطة السليكون والاسمنت حتى حوالى ٣٠٠°C . علما بأن تكلفة النوع الاخير اقل من النوع الاول



شكل ٢ - ٢ مقاومة سلك ملفوف مغطاة بطبقة زجاجية .

وإسـذلك يسـتخدم بكـثرة فـى المـعدات الصـناعية والمنزلية .
وتتواجد مقاومات القـوى بـقيم تتراوح بين 0.1Ω إلى $1 M\Omega$
بتفاوت مسموح به من 5% — 1

أما بالنسبة لمقاومات السلك الملفوف المستخدمة معمليا فيكون التفاوت
المسموح به محصورا بين 0.1% إلى 0.01 % فقط .

٢ - ٢ قيم المقاوم المفضلة

لاحظنا فيما سبق أن قيم المقاومات المستخدمة عمليا تقع في مدى التفاوت
المسموح به . فمثلا بالنسبة لمقاوم له قيمة اعتبارية قدرها 47Ω وتفاوت
مسموح به 10% تكون قيمه واقعة في المدى

$$\text{القيمة العظمى} = 47 + 4.7 = 51.7 \Omega$$

$$\text{القيمة الصغرى} = 47 - 4.7 = 42.3 \Omega$$

وقد يبدو لأول وهلة أن القيمة الاعتبارية للمقاوم وقدرها 47Ω هي قيمة
اختيارية ، ولكنها في الحقيقة هي قيمة واحدة من ضمن مجموعة القيم التي
تغطي المدى المحصور بين $10-100 \Omega$ بأقل عدد من المقاومات ، وكذا لتغطية
المضاعفات العشرية لمثل هذا المدى . وتعرف هذه القيم على أنها « القيم
المفضلة » ، وقد أدرجنا جميع هذه القيم بالجدول [٢ - ١] لتفاوتات مسموح
بها قدرها 5, 10, 20 في المائة .

جدول [٢ - ١] القيم المفضلة للمقاومات للمدى من $10-100 \Omega$

النسبة المئوية للتفاوت		
20%	10%	5%
10	10	10
		11
		12
		13
15	15	15
		16
		18
		20
22	22	22
		24
		27
		30
33	33	33
		36
		39
		43
47	47	47
		51
		56
		62
68	68	68
		75
		82
		91

وتختار القيم المفضلة بحيث أن قيمة مقاومة المقاوم عند ادنى حد للتفاوت المسموح به تساوى بالتقريب قيمة مقاومة المقاوم الاقل « قيمة مفضلة » ، مباشرة عند اقصى حد للتفاوت المسموح به . وبالمثل ، تكون قيمة المقاوم عند اقصى حد للتفاوت المسموح به مساوية على وجه التقريب لقيمة مقاومة المقاوم الاكبر « قيمة مفضلة » مباشرة عند ادنى حد للتفاوت المسموح به . ويمكن توضيح ذلك بالنسبة للمقاومة 47Ω بتفاوت مسموح به قدره 10% كما يلي :

القيمة الاسمية (Ω)	قيمة الحد الادنى (Ω)	قيمة الحد الاقصى (Ω)
39	42.3	42.9
47	50.4	51.7
56		

وفى التطبيق العملى يمكن الحصول على المضاعفات العشرية للقيم المدرجة فى الجدول [٢ - ١] . فمثلا ، بالنسبة للمقاومات كربونية التركيب يحتوى المدى المعتاد لمضاعفات المقاومة ذات القيمة 22Ω القيم التالية .

$22 \Omega, 220 \Omega, 2.2 \text{ k}\Omega, 22 \text{ k}\Omega, 220 \text{ k}\Omega, 2.2 \text{ M}\Omega$

وحاليا يستخدم كثير من رجال الصناعة الرمز BS 1852 مع الرسم التخطيطى للدائرة لى تعطى المعلومات التالية .

- [أ] تحديد مكان العلامة العشرية فى قيمة المقاومة
 [ب] تحديد المضاعف العشرى
 [ج] وبالإضافة ، قد تعطى معلومات عن اختيار التفاوت المسموح به .
 ومن الممكن تحديد مكان العلامة العشرية وكذلك قيمة المضاعف العشرى بواسطة الحروف الابدجية التالية .

المضاعف	الحرف
$\times 1$	R
$\times 1\,000$ (3 zeros)	K
$\times 1\,000\,000$ (6 zeros)	M
$\times 1\,000\,000\,000$ (9 zeros)	G
$\times 1\,000\,000\,000\,000$ (12 zeros)	T

وتوضح الامثلة التالية طريقة استعمال هذه القائمة :

1 KO	تكتب	1 k Ω	R 18	تكتب	0.18 Ω
68 K	تكتب	68 k Ω	1 R 0	تكتب	1 Ω
1 MO	تكتب	1 M Ω	3 R 9	تكتب	3.9 Ω
22 M	تكتب	22 M Ω	47 R	تكتب	47 Ω
120 M	تكتب	120 M Ω	100 R	تكتب	100 Ω

وتحدد الحروف التالية الرموز الاصطلاحية للقيم المنتقاة للتفاوت المسموح به

الحرف	المضاعف (%) (+)
B	0.1
C	0.25
D	0.5
F	1
G	2
J	5
K	10
M	20
N	30

وفيماء يلي بعض الامثلة المعتادة

$$R18J = 0.18 \Omega \pm 5\%$$

$$47RK = 47 \Omega \pm 10\%$$

$$1K0F = 1 k\Omega \pm 1\%$$

$$4M7M = 4.7 M\Omega \pm 20\%$$

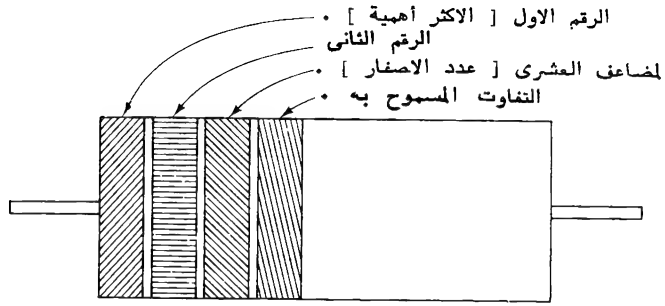
وتستعمل نسخة معدله من هذه الرموز الاصطلاحية مع المكثفات ! انظر الفصل الثالث] .

٢ - ٣ الرموز الاصطلاحية لالوان المقاوم

توضح قيمة المقاومة لمعظم المقاومات [ما عدا انواع السلك الملفوف] المستخدمة فى الالكترونات برموز اصطلاحية للالوان . وبالنسبة للرمز الاصطلاحى المستخدم للمقاومات ذات النهايات المحورية تطبع اشرطة الالوان على جسم المقاومة فيما يعرف باسم « نظام الشريط الملون » [انظر شكل ٢ - ٤] ويوضح الجدول ٢ - ٢ رموز الالوان الاصطلاحية والمستخدمه عالميا .

جدول ٢ - ٢ رموز الوان المقاوم

اللون	قيم اول وثانى ارقام تحت العشرة	المضاعف الى يسار العلامة التفاوت (%)	عدد الاصفار العشرية
فضى			
ذهبى		0.01	20
أسود		0.1	10
بنى	0	1	5
أحمر	1	10	1
برتقالى	2	10 ²	2
أصفر	3	10 ³	3
أخضر	4	10 ⁴	4
أزرق	5	10 ⁵	5
بنفسجى	6	10 ⁶	6
رمادى	7	10 ⁷	7
أبيض	8	10 ⁸	8
	9	10 ⁹	9



شكل ٢ - ٤ الشريط الملون لرموز الالوان

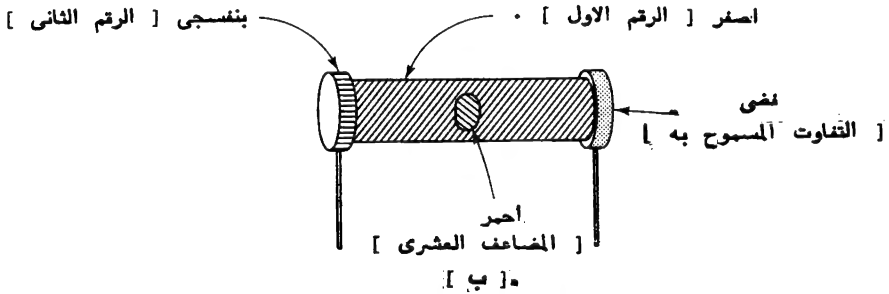
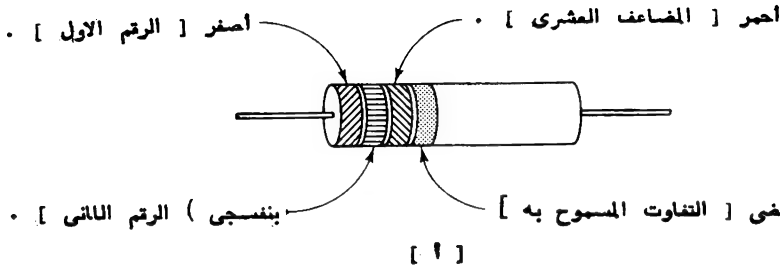
والجدول التالى يعتبر [أهدها السيد المهندس س.ج. و . ماشين من معهد شمال ستافورد شاير التكنولوجى للمؤلف] أداة مفيدة جدا للمساعدة على تذكر ترتيب رموز الالوان .

القيمة	اللون	مساعد للتذكر
0	Black	Bye
1	Brown	Bye
2	Red .	Rosie
3	Orange	Off
4	Yellow	You
5	Green	Go
6	Blue	Bristol
7	Violet	Via
8	Grey	Great
9	White	Western

ويوضح الشكل ٢ - ٥ [أ] واحدا من الامثلة لاستخدام نظام شريط الالوان ، فقيمة الرقم الاول وهو الاكثر اهمية يعطى بشريط فى أقصى يسار شريط التفاوت المسموح به . أما قيمة الرقم الثانى فتعطى بشريط اللون الثانى ، ويعطى الشريط الثالث اللون قيمة المضاعف العشرى فاذا قرأت القيم المأخوذة من الشكل ٢ - ٥ [أ] مع الاستعانة بالجدول [٢ - ٢] فاننا نحصل على :

القيمة	اللون	
4	اصفر	اكثر الارقام اهمية
7	بنفسجى	اقل الارقام اهمية
2	أحمر	المضاعف
10 %	فضى	التفاوت

وهكذا تكون قيمة المقاومة $4700 \Omega \pm 10\%$. ويمكن بيان قيمة هذه المقاومة على الرسم التخطيطى للدائرة بـ $4 K 7k$. وعندما لا يتواجد شريط التفاوت المسموح به ، يفهم من ذلك أن التفاوت المسموح به يبلغ $\pm 20\%$



شكل ٢ - ٥ الرموز الاصطلاحية لالوان المقاومات [١] نظام الشريط الملون و [ب] نظام نقطة وطرفا الجسم .

يوضح شكل ٢ - ٥ [ب] الطريقة القديمة غير المستخدمة حاليا والتي كانت تستخدم رموزا دولية للالوان وتسمى نظام نقطة - وطرفا - الجسم وهذه الطريقة هي أقل شيوعا من نظام الشريط الملون . وفى هذه الطريقة القديمة يعطى لون الجسم قيمة الرقم الاول [وهو الأكثر أهمية] بينما يحدد لون الطرف ، الذى يقع فى أقصى يسار لون التفاوت المسموح به ، قيمة الرقم الثانى . أما قيمة المضاعف فتحدد قيمته بلون النقطة فوق الجسم وبالمثل ، يمكن تحديد قيمة المقاومة الموضحة بالشكل ٢ - ٥ [ب] بـ $4.7 k\Omega$. وأذ تعتبر طريقة الرموز الاصطلاحية الالوان مناسبة لتحديد قيمة المقاومات الا أن لها عدة عيوب هي :

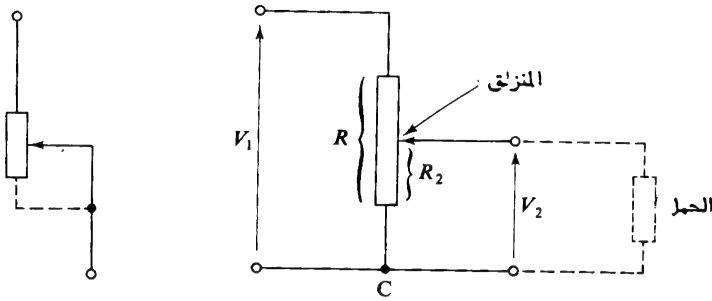
- [أ] من الممكن أن تتغير الالوان مع القدم وكثرة الاستعمال .
- [ب] يحتمل أن يتغير اللون ظاهريا تحت ظروف الاضاءة الصناعية .
- [ج] يعاني عمال الصيانة المصابون بعمى الالوان صعوبات لتحديد قيم المقاومات .

٢ - ٤ المقاومات المتغيرة ومقياس الجهد [بوتنشيومتر]

مقياس الجهد هو مقسم للجهد انظر شكل [٢ - ٦] حيث تتحدد قيمة فولت الخرج V_2 بكل من فولت الدخل V_1 وكذلك حركة المنزلق على مقياس الجهد . وتتحدد قيمة فولت الخرج فى حالة اللاحمل بما يلى :

$$V_2 = V_1 \times R_2/R \text{ volts}$$

ويعتبر مقياس الجهد خطيا اذا وجد تناسب بين V_2 وحركة المنزلق المقاسة من النقطة المشتركة C وفى هذا النوع من المقومات ،



[ب]

[١]

شكل ٢ - ٦ [١] مقياس الجهد [ب] مقاوم متغير

تكون العلاقة على الرسم الذى يبين تغير V_2 مع حركة المنزلق عبارة عن خط مستقيم يمر بنقطة الاصل . وفى العادة ، تحيد العلاقة التى نحصل عليها بالنسبة للمفرقات العادية عن الخط المستقيم الا أن الانحراف عن الخط المستقيم يقل عن مقدار 0.5% فى مقياس الجهد دقيقة الصنع .

وعندما يراد استخدام الجهاز كمجرد مقاومة متغيرة ، تنفذ التوصيلة الموضحة بالشكل ٢ - ٦ [ب] وفى بعض الاحيان ، يكون من الانسب ربط النهاية غير الموصلة العنصر بالمنزلق كما هو مبين بالتوصيلة الظاهرة بالخط المتقطع فى شكل ٢ - ٦ [ب] .

وتتغير قيمة المقاومة لكثير من مقاييس الجهد المستخدمة فى المعدات السمعية بنسبة لوغاريتمية مع حركة المنزلق . ويعرف هذا النوع من المفرقات ، بمقاييس الجهد اللوغاريتمية . ويسمح مثل هذا الطراز من مقاييس الجهد بمواءمة الاجهزة السمعية مع استجابة أذن الانسان .

ويبين الجدول الاتى تدرج الاصناف الشائعة لمقاييس الجهد والمقاومات المتغيرة

نوع مقياس الجهد	خصائصه
قدرة مرتفعة	سعة القدرة له اكبر من 7W
اغراض عامة	سعة القدرة اقل من 7W
مضبوط مقدما	مقاييس جهد رخيصة الثمن، يمكن أن توجد بغير كبسولة تستعمل نادرا للضبط
مرتبب الحسولة	مثل النوع السابق ولكنه األى وجودته مرتفعة
دقيق	خطى الانحراف عن الخط المستقيم اقل من 0.5% عادة .

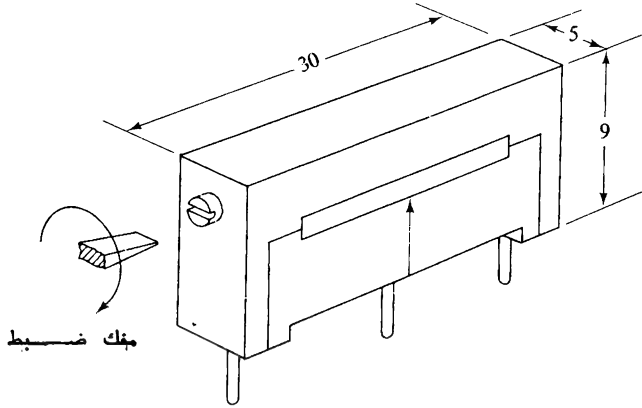
أشكال مسارات مقاييس الجهد : تقع أشكال المسارات المستخدمة في مقاييس الجهد في ثلاثة تشكيلات عريضة هي :

[أ] مستقيمة الاضلاع [خطية] .

[ب] على هيئة قوس

[ج] لولبية أو متعددة اللفات .

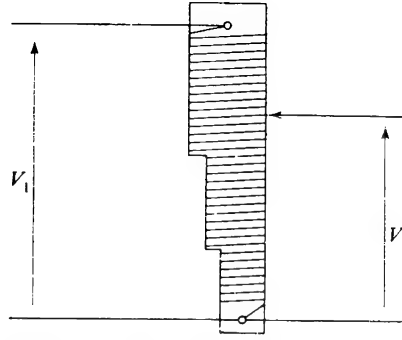
عناصر المقاومة الخطية : ولها منزلق يتحرك في خط مستقيم على طول العنصر المقاوم . وتشمل التطبيقات المعتادة لمثل هذا النوع من بعض المقاومات المتغيرة ذات القدرة المرتفعة والمستخدم في الأغراض العسامة وكذلك أغراض التحكم في أجهزة hi-fi ومغنيات الاستديو . ولإمكانية التحكم الدقيق في وضع المنزلق ، يدمج دليل بارز للمفك مع الجزء المتحرك بينما يعشق المنزلق ميكانيكيا مع ترس تخفيض السرعة . ويوضح شكل ٢ - ٧ ، مثلا لهذا النوع السابق ، على صورة مقاوم خطي مرتب الحموله ومناسب للاستعمال ضمن لوحة من الدوائر المطبوعة . والأبعاد المبينة بالشكل هي بالمليمترات وسعة مثل هذه الوحدة يكون بين $0.5 - 0.75 \text{ W}$.



شكل ٢ - ٧ كبسولة مقاوم خطي مرتب الحموله [الأبعاد بالمليمترات]

في بعض التطبيقات ، مثل تنظيم تيار المجال للمحركات الكهربائية ، تكون المقاومة متدرجة لتعطي مقاومة لا تتغير بانتظام مع الطول . ويبين الشكل ٢ - ٨ احدى أنواع مقاييس الجهد المتدرجة الخطية .

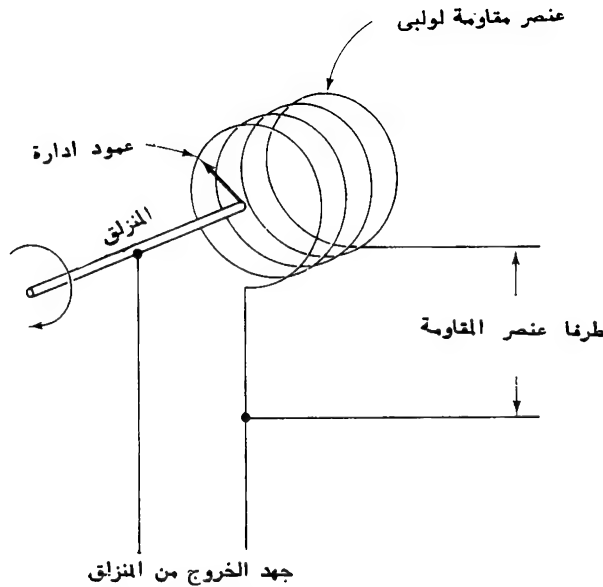
وتصنع مقاييس الجهد ذوات اللفة الواحدة والتي يشكل مسارها على هيئة القوس لجميع الأغراض ابتداء من النوع المستخدم للقوة الكبيرة حتى ذلك النوع المستخدم في الأغراض الدقيقة . والاعتماد على لفة واحدة لا يؤدي الى درجة كافية من الدقة ، حيث أن زاوية الدوران تكون



شكل ٢ - ٨ مقياس الجهد المشدج الخطى

فى العادة بين $330^\circ - 300^\circ$ ولا تصل الى 360° كاملة وفى الحقيقة ، تدعو الحاجة ، بالنسبة لبعض الاغراض التطبيقية بالغة التخصص الى مقياس جهد بزاوية دوران مقدارها 360° . ففى بعض انواع الحاسبات الالكترونية ، مثلا ، تستخدم مولدات للدالة الجيبية ، حيث توجد علاقة بين خرج الجهد وبين جيب او جيب تمام زاوية دوران عمود الادارة .

ويأخذ الجزء المقاوم من مقياس الجهد ذوات المسار اللولبى [او متعدد اللفات] شكلا لولبيا متعدد اللفات . ويوضح شكل ٢ - ٩ فكرة مقياس الجهد لولبى المسار الذى يعطى ما يكافئ زاوية دوران مقدارها 3600° اذا ما احتوى عشر لفات . ومن الممكن ادارة عمود الادارة بواسطة آلة تروس مناسبة ، بينما يمكن تحديد وضع المنزلق بأرقام يمكن قراءتها عن طريق مؤشر يتحرك ميكانيكيا .



شكل ٢ - ٩ التركيب الاساسى لمقياس الجهد لولبى المسار .

أنواع العناصر المستخدمة فى مقاييس الجهد : يمكن القول بصفة عامة ،
ان أكثر أنواع عناصر المقاومات شيوعا هى :

[أ] الكربون

[ب] السيرميت

[ج] البلاستيك الموصل

[د] السلك الملفوف

تنقسم عناصر المقاومة المستخدمة فى مقاييس الجهد الى نوعين هما ،
المسار الغشائى والمسار المشكل . ويتكون النوع الاول من لايه الكربون
الراتنجى الذى يتم رشه على قاعدة عازلة . أما النوع الثانى فيصنع بتشكيل
مسار الكربون الراتنجى على الساخن من داخل هيكل مقياس الجهد .
وتستخدم مقاييس الجهد الكربونية فى أكثر التطبيقات التى تدعو الحاجة
اليها فى الأغراض العامة وكذلك فى استعمالات مقاييس الجهد التى تم
ضبطها مقدما .

مقاييس الجهد السيرميتية . ينتج هذا النوع بتصنيع غشاء سميك من المادة
المقاومة فوق قاعدة السطح العازل [انظر شكل ٢ - ١] . وحيث أن هذا
الغشاء متصل فانه يكسب المادة صلابة دائمة ويسمح بالتشغيل عند
درجات الحرارة المرتفعة . وتمثل مقاييس الجهد المنظمة المحمولة ، من النوع
الدوراني ، والنوع الخطى ، معظم تطبيقات مثل هذا النوع من المواد .

البلاستيك الموصل . ويتخذ مثل هذا النوع مسارا من جسيمات الكربون
الدقيقة التى يتم توزيعها بانتظام على مادة راتنجية تصل عند التسخين
ويكتسب المسار الناتج صلابة دائمة وتزيد مدّة التشغيل عن المدة المتوقعة
فى كافة الأنواع الأخرى [فى العادة من 10 الى 50 مرة] . وتمثل
الخاصية الأخيرة أهم الظواهر البارزة لمثل هذا النوع من مقاييس الجهد .
وتميل قيمة مقاومة التماس بين المنزلق والمسار للارتفاع مما يؤدى الى الحد
من قيمة التيار الذى يمكن استخراجه من المنزلق . ويمتص عنصر البلاستيك
الرطوبة مما يؤدى الى تغيرات فى قيمة المقاومة لا تتعدى نسبتها حوالى
7%

هذا وتوجد مقاييس الجهد ذوات السلك الملفوف من جميع الأنواع ابتداء
من تلك التى تتصف بالدقة حتى تلك الأنواع المستخدمة فى أغراض القوى
وتصنع إما على اشكال خطية أو دورانية ومن لفة واحدة أو حتى بضع لفات .

٢ - ٥ المقاومات الحرارية [الترمستور]

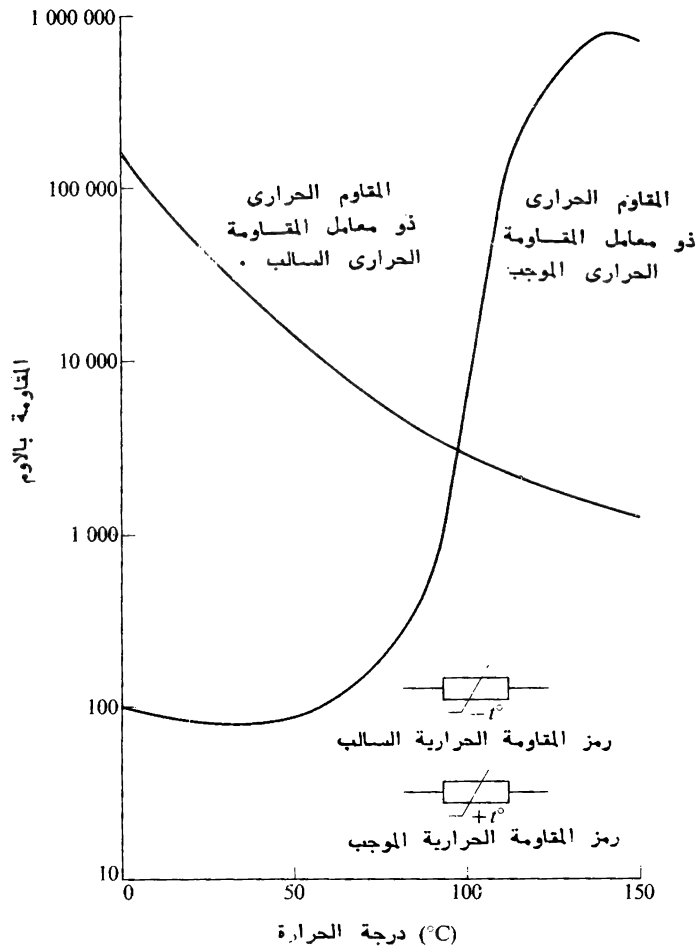
المقاوم الحرارى هو مقاوم حساس للحرارة تتغير مقاومته مع درجة الحرارة . ويستخدم نوعان من هذا المقاوم الحرارى هما المقاوم ذو معامل المقاومة الحرارى السالب ، والذي تقل مقاومته مع ازدياد درجة الحرارة ، والاخر ذو معامل المقاومة الحرارى الموجب ، والذي تزيد مقاومته مع ازدياد درجة الحرارة .

المقاومات الحرارية ذات معامل المقاومة الحرارى السالب (N.t.c.)

المقاومات الحرارية ذات معامل المقاومة الحرارى السالب هى معدات اشباه الموصلات الذاتية التى تزداد خاصية توصيلها مع ارتفاع درجة الحرارة [او تقل مقاومتها مع ارتفاع درجة الحرارة] ، كما اوضحنا فى الباب الاول . ويوضح الشكل ٢ - ١٠ جزءا من منحنى العلاقة التى تربط المقاومة بدرجة الحرارة لواحد من الاجهزة المعتادة ذات معامل المقاومة الحرارى السالب . وتتخذ درجات الحرارة ، التى يتم تشغيل هذه المعدات عليها ، مدى يبدأ من 60°C - الى 400°C + بالتقريب . وتستعمل هذه المعدات فى اجهزة القياس ومحولات الطاقة الصغيرة المستخدمة لقياس الحرارة ، وعلى سبيل المثال تستخدم كعنصر حساس للحرارة لقياس درجة حرارة الماء بالنسبة لحركات السيارات . وتشمل بعض التطبيقات الاخرى قياس معدل سريان الموائع وكاشفات مستوى السوائل ، الخ ... كما تستخدم فى التطبيقات الالكترونية بكثرة وعلى سبيل المثال المذبذبات ودوائر الاتصالات واجهزة قياس القوى ذات المذبذبات العالية ... الخ .

المقاومات الحرارية ذات معامل المقاومة الحرارى الموجب : (P.t.c.)

تمتلك بعض اشباه الموصلات خواص مشابهة لتلك التى يعبر عنها المنحنى الايمن فى شكل [٢ - ١٠] وتسمى المقاومات الحرارية ذات معامل المقاومة الحرارى الموجب . وعندما ترتفع درجة الحرارة من 50°C الى 150°C فان هذا المنحنى يوضح تزايدا مفاجئا فى قيمة المقاومة . ونظرا لهذا التغير السريع فى قيمة المقاومة عبر هذا المدى القصير [نسبيا] من درجات الحرارة فان هذا النوع من المقاومات يسمى « المقاوم الحرارى اللحظى ذا معامل المقاومة الحرارى الموجب » .



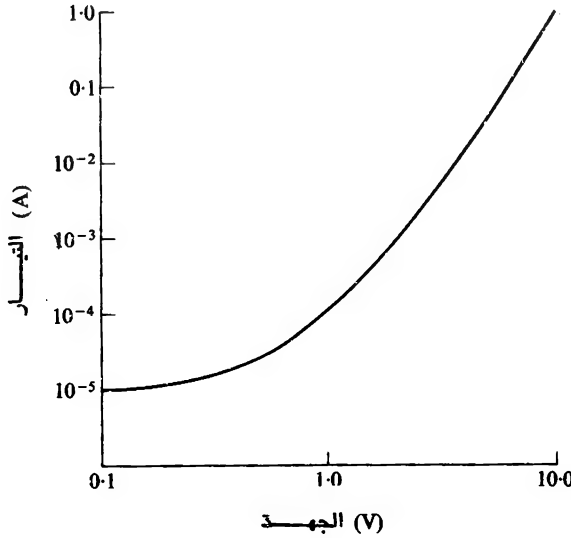
شكل ٢ - ١. المنحنيات المميزة للمقاوم الحرارى

يشيع استعمال المقاوم الحرارى اللحظى ذو معامل المقاومة الحرارى الموجب فى الدوائر الالكترونية عندما يراد وقف المغنطيسية بالنسبة لصمامات التليفزيون الملون . فلكى يمكن المحافظة على تسجيل اللون الصحيح ، يتحتم أن تتكرر بدرجة معقولة عمليات محو المغنطيسية من الصمام . وانسب وقت للقيام بهذه العملية هو عند بدء تشغيل جهاز الاستقبال . وهكذا يوصل المقاوم الحرارى ذو معامل المقاومة الحرارى الموجب على التوالى مع ملفات محو المغنطيسية من الصمام ونظرا لبرودة المقاوم الحرارى عند بدء تشغيل جهاز الاستقبال ، فان مقاومته تكون منخفضة ، وبناء على ذلك ينساب تيار متغير ذو قيمة كبيرة فى دوائر الملفات والمقاوم الحرارى وبسبب الحرارة المتولدة عن هذا التيار يصل المقاوم الحرارى الى « درجة الحرارة الفاصلة » ، عندما تصل قيمة المقاومة لقيمتها العظمى فى هذه اللحظة ويؤدى هذا بالتالى لسرعة نقصان قيمة التيار المار فى ملفات محو المغنطيسية

وهو التأثير المرغوب بالنسبة لسمام التليفزيون وتستخدم المقاومات الحرارية للحظية ذوات معامل المقاومة الحرارى الموجب ايضا وبكثرة فى دوائر وقاية المحرك الكهربائى من زيادة الحمل .

٢ - ٦ المقاومات تابعة الجهد

المقاومات تابعة الجهد هى أجهزة تقل مقاومتها مع ازدياد الجهد المؤثر على اطرافها ، ويوضح الشكل ٢ - ١١ العلاقة التى تربط كلا من الجهد والتيار لنوع شائع من مثل هذه المقاومات . ويطلق ايضا اسم « الفارستور » باللغة الانجليزية على مثل هذا النوع من المقاومات .



شكل ٢ - ١١ العلاقة بين الجهد والتيار للمقاوم تابع الجهد [الفارستور]

ومن المعتاد تصنيع هذه الاجهزة من كربيد السليكون وتستخدم أساسا فى مجال وقاية المعدات الكهربائية من الارتفاع المفاجئ فى الضغط . توصل المقاومة تابعة الجهد على التوازي مع الجهاز المراد وقايته وعندما يحدث أى اندفاع مفاجئ للضغط بين طرفى الجهاز ، فان مقاومة الفارستور تقل لحظيا وبذلك تمتص جزءا من الطاقة المباشرة فتتكسر حينها .

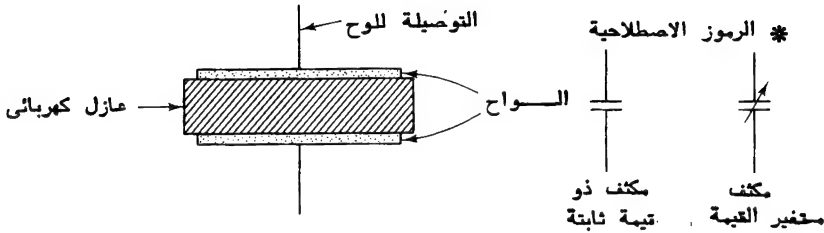
الفصل الثالث

المكثفات

المكثفات هي انبطة لديها القدرة على تخزين الطاقة الكهربائية ، وهي ذات أهمية حيوية بالنسبة للدوائر الإلكترونية . وتشمل الخصائص الأخرى للمكثفات قدرتها على تغيير زاوية الطور بين التيار والجهد في دوائر التيار المتغير [انظر الفصل السادس] ، وحقيقة أخرى هي أن قيم مفاعلات المكثفات تتغير مع تغير تردد المصدر .

٣ - ١ فكرة عمل المكثف

يتكون المكثف من موصلين يعرف كل منهما باللوح المعدني أو الألكترود ويوجد بينهما وسط عازل باسم « العازل الكهربائي » ويوضح الشكل ٣ - ١ التركيب الأساسي للمكثف ذي اللوحين المتوازيين . فالمادة العازلة تحتفظ بالطاقة الكهربائية المخزنة في المكثف . وتستخدم مواد عازلة منها : الهواء ، والورق المشرب ، ومواد من البلاستيك ، والميكا ، ومواد من السيراميك .



شكل ٣ - ١ مكثف بسيط مكون من لوحين متوازيين

سنصف فيما يلي ميكانيكية تخزين الشحنة . فمن الممكن من وجهة النظر الالكتروستاتيكية اعتبار أن جزيئات المادة العازلة مكافئة لتضبان صغيرة

ممغنطة وانما ذوات « اقطاب كهربائية » موجبة وسالبة فعندما يكون المكثف مفرغا تبطل « اقطاب » الجزئيات مفعول بعضها البعض حيث تنعدم الطاقة المخزنة فى المكثف . فاذا ما سلط جهد ثابت بين لوحى المكثف ، تنتظم الجزئيات فى نفس اتجاه المجال الكهربى بتأثير القوة الكهربائية الناشئة .

وفى التو ، يتواجد عجز فى الالكترونات باللوح الموصل للقطب الموجب بينما يحتوى اللوح الموصل بالقطب السالب على فائض من الالكترونات . فاذا تم فصل مصدر الجهد تستمر فاعلية جزئيات المادة العازلة وتخزن الطاقة فى العازل الكهربائى .

ويلاحظ انه من الممكن قياس فرق الجهد بين طرفى المكثف بعد فصله عن مصدر الجهد . ويستمر فرق الجهد هذا لمدة من الزمن تختلف من عدة دقائق الى عدة أيام طبقا لقيمة المقاومة التسريبية للعازل . ويقل فرق الجهد بمعدل فى غاية البطء اذا ما ارتفعت قيمة المقاومة التسريبية ، وتسمح القيمة المنخفضة للمقاومة التسريبية للشحنة بالتسرب بمعدل أسرع .

فعند التعامل مع الدوائر الالكترونية ، ينبغى التأكد ان المكثفات كبيرة السعة قد افرغت تماما ، والا أصبح من المحتمل التعرض لصدمة كهربائية نتيجة للشحنة المخزنة . ومن الممكن تفريغ المكثفات بأمان بأن توصل مقاومة مقدارها حوالى $1\text{ k}\Omega$ بين طرفى المكثف لمدة قصيرة . كما يجب ان يتأكد مهندسو الصيانة ، عند استبدال المكثفات النافثة ، ان جهد التشغيل للمكثفات البديلة صحيح ، ذلك انه يوجد احتمال لانفجار هذه المكثفات البديلة ، اذا تم تشغيلها على قيم أعلى من جهدها المقنن بسبب احتمال تولد بعض الفازات من داخل المكثف .

٣ - ٢ وحدات السعة الكهربائية

تعرف قدرة المكثف على تخزين الشحنة الكهربائية بالسعة الكهربائية او السعة ، ويرمز لها بالرمز C . والفاراد هو وحدة السعة ويرمز له بالحرف F وتقدر سعة المكثف بالعلاقة التالية

$$\frac{\text{الشحنة المخزنة [بالكولوم]}}{\text{فرق الجهد بين الالواح [بالفولت]}} = \text{السعة بالفاراد}$$

او

$$C = \frac{Q}{V} \text{ farads (F)}$$

إذا كانت قيمة فرق الجهد بين طرفى المكثف 10 V عندما كانت الشحنة المختزنة 100 ميكرو كولوم ، فإن

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{100 \times 10^{-6}}{10} = 10 \times 10^{-6} \text{ F} = 10 \mu\text{F}$$

وحيث أن الفاراد يعتبر وحدة كبيرة جدا للسعة لذا تستعمل وحدات الميكروفاراد (μF) والنانوفاراد (nF) والبيكوفاراد (pF) فى التطبيقات العملية علما بأن

$$1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F} = 1000 \text{ nF} = 1\,000\,000 \text{ pF}$$

$$1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F} = 0.001 \mu\text{F} = 1000 \text{ pF}$$

$$1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F} = 10^{-6} \mu\text{F} = 0.001 \text{ nF}$$

هذا وتقل قيم السعة لمعظم المكثفات المستخدمة عن $0.01 \mu\text{F}$ بينما يستخدم عدد قليل من المكثفات بقيم كبيرة جداً [تصل الى حوالى $10000 \mu\text{F}$] فى اغراض القوى الكهريائية وشبكاتها .

٣ - ٣ سمحية المواد العازلة

عند تسليط فرق جهد بين طرفى المكثف يتكون فيض كهبرى فى العازل . وسمحية العازل تباظر الموصلية بالنسبة للموصل الكهريائى . فعند فرق جهد معين يستبدل عازل المكثف بآخر ذى سمحية اكبر ، فان الفيض الكهبرى فى العازل يزداد لنفس فرق الجهد . افن ، باستعمال عازل له سمحية اكبر نحصل على سعة اكبر لكل وحدة حجوم . ويستخدم الرمز ϵ [وهو رمز يونانى ينطق ايسلون] للسمحية ووحدته تقدر بالفاراد لكل متر . وفى التطبيق العملى ، يكون من الانسب الرجوع الى السمحية النسبية ورمزها ϵ_r وهى نسبة بين سمحية المادة وسمحية الفراغ ، حيث

$$\frac{\text{سمحية العازل}}{\text{سمحية الفراغ}} = \epsilon_r = \text{السمحية النسبية}$$

إذا كانت ϵ_r تساوى خمسة مثلاً ، فان سمحية المكثف المستعمل لعازل ما تبلغ خمسة اضعاف سمحية المكثف المكافئ الذى يستعمل الفراغ كعازل له . واذا تبلغ قيمة السمحية النسبية للهواء مقدار 1.005 ، فانه من الممكن أن تحتسب كواحد لكل الاغراض العملية . وتقع السمحية النسبية لمعظم العوازل الصلبة والزيوت العازلة فى المدى ما بين 2 - 8 ، وفيما يلى قائمة مختارة لبعض العوازل

المادة	المساحة
الهواء	1-0005
الورق [الجاف]	2-2.5
ثريبط بوليسترين	2-3
ميكاف	3-7
ورق مشرب	4-6
خزف	6-100
خزف [ϵ كبيرة]	1500-3000

وتعطى القيمة المطلقة أو القيمة الفعلية للمساحية لاي مادة بالتعبير
الآتى :

$$\epsilon = 8.85 \times 10^{-12} \epsilon_r \text{ F/m}$$

٣ - سعة المكثفات متوازية الالواح

تعطى سعة المكثف ذى اللوحين المتوازيين الموضح فى شكل ٣ - ١

$$\text{السعة} = C = \frac{\epsilon a}{d} \text{ فاراد}$$

$$F = \frac{8.85 \times 10^{-12} \epsilon_r a}{d} =$$

حيث

a = مساحة جانب واحد لكل لوح بالتر المربع

d = سمك العازل بالتر

ϵ_r = المساحية النسبية للعازل

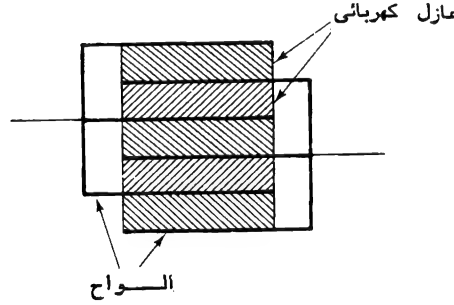
وهكذا ، اذا كانت $a = 0.05 \text{ m}^2$ و $d = 0.0005 \text{ m}$ و $\epsilon_r = 5$ ، اذن :

$$C = \frac{8.85 \times 10^{-12} \times 5 \times 0.05}{0.0005} = 4.425 \times 10^{-9} \text{ F} = 4.425 \text{ nF}$$

وتعتبر المعادلة السابقة هامة لانها توضح العلاقة بين الحجم الطبيعى للمكثف والمساحية النسبية والسعة . فهى توضح مثلا أن سعة المكثف تتضاعف بمضاعفة المساحة الفعلية للالواح . وعلاوة على ذلك تعتبر النسبة ϵ_r/d هامة ايضا حيث تزداد السعة بمضاعفة هذه النسبة . فمثلا ، بينما قيمة ϵ_r للميكاف تكون مرتفعة نسبيا ، فانه يوجد حد أدنى للسمك الذى يمكن أن يفلق منها ، وعلى هذا تحدد القيمة القصوى للنسبة ϵ_r/d .

بالقيمة الحدية لادنى سمك من مادة العازل . ومن ناحية اخرى نجد أنه ، بينما تكون قيمة ϵ_r لشريط البوليسترين منخفضة ، فانه من الممكن تصنيعها على شكل أغشية رقيقة لتعطى قيمة مرتفعة للنسبة ϵ_r/d .

ويوضح شكل ٣ - ٢ تركيبة الالواح المتعددة وهى تركيبة شائعة وفى هذه الحالة ، يحتوى المكثف على ستة الواح وخمسة عوازل . وعلى هذا ، اذا احتوى المكثف على N لوح فهو يحتوى على $(N - 1)$ عازل .



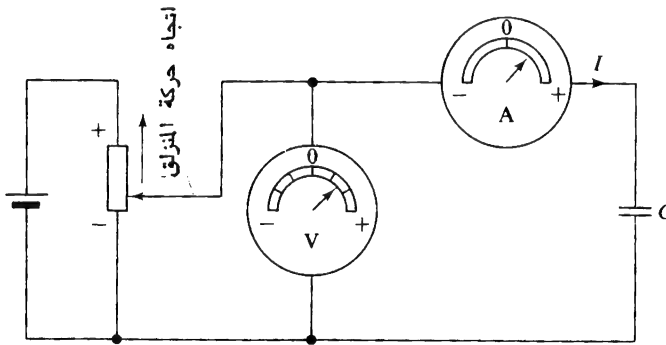
شكل ٣ - ٢ مكثف متكرر الالواح

وحيث أن الشحنة تختزن فى المادة العازلة ، فان سعة هذا المكثف المتكرر الالواح تبلغ خمسة اضعاف سعة المكثف المحتوى على لوحين فقط . وتعطى سعة هذا النوع من المكثفات بالمعادلة الاتية :

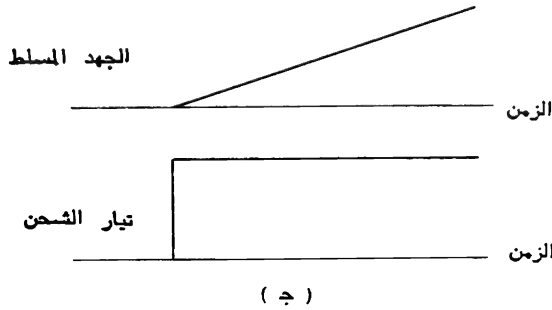
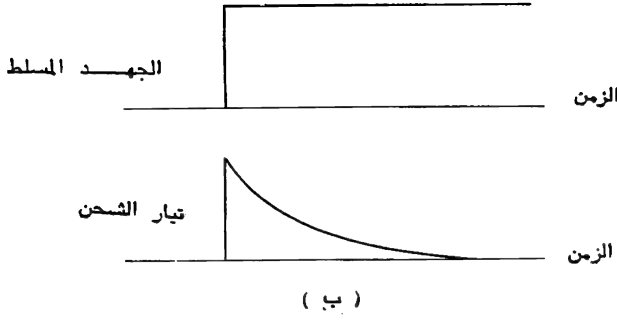
$$C = \frac{\epsilon(N - 1)a}{d} = \frac{8.85 \times 10^{-12} \epsilon_r(N - 1)a}{d} \text{ F}$$

٣ - ٥ تيار الشحن والتفريغ

لنفرض ان المكثف C الموضح فى شكل ٣ - ٣ [١] كان مفرغا عند بدء التشغيل ، وان منزلق مقياس الجهد اتخذ الوضع الأسفل من مساره ، وبمعنى آخر لا يوجد أى جهد مسلط بين طرفيه .



(a)



شكل ٣ - ٢

[أ] التيار المناسب في المكثف أثناء فترة الشحن . الإشكال الموجبة للتيار في [ب] كنتيجة لتغيير مفاجئ في جهد الدائرة وفي [ج] كنتيجة لمعدل تغير ثابت الجهد للدائرة

فإذا تحرك المنزلق أعلى مقياس الجهد أصبح هناك جهد موجب مسلط على اللوح العلوي للمكثف ، مما يؤدي إلى تعديل مدارات الإلكترونات في جزئيات العازل لتصبح على شكل قطع ناقص بحيث تقترب مداراتها من اللوح العلوي [الموجب] للمكثف . وتؤدي حركة الإلكترونات في المادة العازلة لتناثر الإلكترونات بعيداً عن اللوح العلوي ولكن خلال الدائرة الخارجية وتكون هذه الإلكترونات في الدائرة الخارجية سريانا للتيار في الدائرة وفترة الشحن للمكثف ما هي الا فترة الزمن التي تتبع فيها مدارات الإلكترونات ، وفي خلال هذه الفترة من الزمن ، يمكن ان يلاحظ تيار الشحن في الدائرة الخارجية ويستطيع القارئ تذكر أن الاتجاه التقليدي لانسياب التيار هو عكس اتجاه سريان الإلكترونات ، وبذلك ينساب التيار أثناء فترة الشحن في اتجاه اللوح العلوي للمكثف .

إذا تغيرت قيمة الجهد المسلط من الصفر إلى قيمة أكبر بطريقة مفاجئة كما في شكل ٣ - ٣ [ب] تزداد قيمة تيار الشحن فجأة لقيمة لاتحدها الا مقاومة الدائرة فقط ، وبعدها تضحل قيمته إلى الصفر . يوصف الشكل

الموجى لتيار الشحن بالمنحنى الاسى ، وستذكر تفاصيل اخرى عن الشكل الموجى لتيار الشحن فى الجزء ٣ - ١٢ .

فاذا تزايد الجهد المسلط على المكثف بمعدل ثابت نتيجة أن المنزلق يتحرك على مقياس الجهد بمعدل ثابت، فان تيار الشحن يتخذ قيمة ثابتة ، كما هو موضح فى الشكل . وكلما تزايد الجهد المسلط بسرعة أكبر [بما يناظر اتخاذ الخط البيانى للجهد ميلا حادا] كلما ازدادت قيمة تيار الشحن ، وتصبح العلاقة بين قيمة تيار الشحن I فى حالة شكل ٣ - ٣ [ج] ومعدل تغير الجهد المسلط بين طرفى المكثف كالآتى :

$$I = C \times \text{معدل تغير جهد المكثف}$$

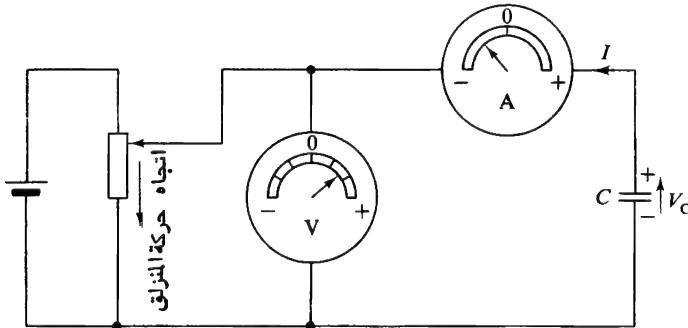
$$= C \frac{dV}{dt} \text{ A}$$

حيث dV/dt هى طريقة مختصرة للتعبير عن معدل تغير الجهد بالنسبة للزمن . فاذا زاد الجهد المسلط ، بين طرفى مكثف سعته بمعدل ثابت مقداره 1000 V/s فان قيمة تيار الشحن تبلغ

$$I = 10^{-6} \times 1000 = 1000/1\ 000\ 000 = 1/1000 \text{ A} = 1 \text{ mA}$$

وقد يبدو من الوهلة الاولى أن معدل تغير الجهد المعطى فى المثال السابق ذا قيمة عالية ، وفى الحقيقة من الممكن أن نتعامل مع قيم أكبر بكثير من 100 V/s فى عديد من الدوائر الالكترونية .

تفريغ المكثف يبين شكل ٣ - ٤ حالة تشغيل المكثف فى خلال الفترة الزمنية التى يتم خلالها تفريغه . وفى هذه الحالة تقل قيمة الجهد V ، المأخوذ بين منزلق الفرق والارض ، عن قيمة الجهد بين طرفى المكثف . وبالتالي فان تيار التفريغ ينساب خارجا من اللوح العلوى [الموجب] للمكثف عندما يتحرك المنزلق الى أسفل مقياس الجهد ويقوم المكثف بتفريغ طاقته فى الجزء السفلى من مقياس الجهد خلال هذه الفترة الزمنية .



شكل ٣ - ٤ انسياب التيار فى الدائرة السعوية خلال فترة التفريغ

وكما عرض سابقا ، فاذا تغير قيمة V بطريقة مفاجئة من قيمة الى اخرى [بالتنقيص في هذه الحالة] يؤدي الى تيار تفريغ سنبل من النوع الموضح في شكل ٣ - ٣ [ب] . فاذا تم تحريك منزلق مقياس الجهد الى اسفل بمعدل ثابت ، فان تيار الشحن تكون ثابتة .

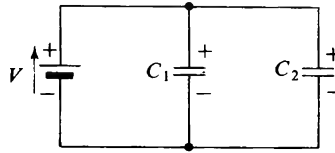
٣ - ٦ توصيل المكثفات على التوازي

عند توصيل مكثفين على التوازي مع مصدر مشترك للجهد V [انظر شكل ٣ - ٥] ، فانه نتيجة لما سبق عرضه في الفصل ٣ - ٢ ، تكتسب الشحنة Q_1 المختزنة في المكثف C_1 ما قيمته

$$Q_1 = C_1 V$$

وتكتسب الشحنة Q_2 المختزنة في المكثف C_2 ما قيمته

$$Q_2 = C_2 V$$



شكل ٣ - ٥ توصيل المكثفات على التوازي

فاذا افترضنا انه من المطلوب احلال مكثف واحد سعته C بدلا من مكثفي مجموعة التوازي ، بحيث يخزن هذا المكثف نفس الشحنة الكلية ($Q_1 + Q_2$) عند توصيله بالمصدر V ، فان

$$Q = CV = Q_1 + Q_2 = C_1 V + C_2 V$$

او

$$CV = V(C_1 + C_2)$$

وهكذا

$$C = C_1 + C_2$$

اذن ، قيمة السعة المكافئة من توصيل عدة مكثفات على التوازي تساوي المجموع الكلي لسعات المكثفات المنفردة . ويؤدي توصيل عدة مكثفات على التوازي الى ان تزيد السعة المكافئة عن سعة اكبر مكثف منفرد في الدائرة .

اذا وصل عدد n من المكثفات على التوازي ، فان المعادلة التي تعطى فيه السعة المكافئة C هي

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

مثال ٣ - ١ . اذا وصلت المكثفات ذات السعات $1 \mu F$, $1 nF$, $1 pF$ على التوازي احسب السعة المكافئة لهذه المجموعة بالناتوفاراد .
الحل

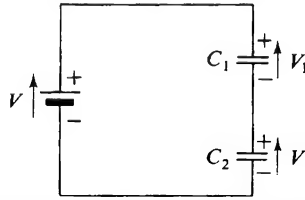
$$1 \mu F = 1000 nF$$

$$1 pF = 0.001 nF$$

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 1000 + 1 + 0.001 nF = 1001.001 nF$$

٣ - ٧ توصيل المكثفات على التوالي

يبين شكل ٣ - ٦ مكثفين متصلين على التوالي . وحيث أن نفس تيار الشحن ينساب خلال كل من المكثفين لنفس الفترة الزمنية



شكل ٣ - ٦ مكثفات متصلة على التوالي

فان كل مكثف منهما يقوم باختزان نفس الكمية الكهربائية . فاذا كانت الكمية الكهربائية هي Q فان

$$Q = C_1 V_1 = C_2 V_2$$

وحيث أن C_1 و C_2 هما سعة هذين المكثفين بينما V_1 و V_2 هما فرق الجهد بين أطراف المكثفين على الترتيب . فباستخدام العلاقة السابقة نحصل على

$$V_1 = \frac{Q}{C_1} \text{ و } V_2 = \frac{Q}{C_2}$$

$$V = V_1 + V_2 \quad \text{وحيث أن}$$

$$V = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} \quad \text{اذن}$$

فاذا ما رغبتنا في احلال مكثف واحد محل مجموعة المكثفات المتصلة على التوالي ، بحيث يختزن شحنة مقدارها كولوم لنفس فرق الجهد V فولت ، فان

$$Q = CV$$

او

$$V = \frac{Q}{C} \quad [٣ - ٢]$$

وبمساواة المعادلات [٣ - ١] و [٣ - ٢] مع بعضهما البعض نحصل على

$$\frac{Q}{C} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} = Q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right)$$

أو

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

وبمعنى آخر ، فى حالة التوصيل على التوالى لعدة مكثفات ، فان مقلوب السعة المكافئة الناتجة يساوى مجموع مقلوب كل من السعات المختلفة للمكثفات المنفردة . ويؤدى توصيل عدة مكثفات على التوالى الى ان تقل السعة المكافئة عن سعة اصغر مكثف منفرد فى الدائرة .

اذا وصل عدد n من المكثفات على التوالى ، فان مقلوب قيمة السعة المكافئة تعطى بالعلاقة التالية

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

مثال ٣ - ٢

وصل مكثفان سعتهما و على التوالى فى دائرة مكبر الكترونى . اوجد قيمة السعة المكافئة للمجموعة مقدرة بالنانوفاراد .

الحل :

$$0.01 \mu F = 10 \text{ nF}$$

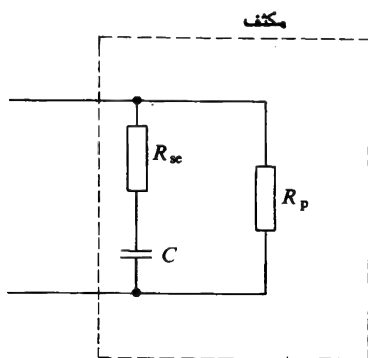
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{10} + \frac{1}{1} = 1.1 \quad (1/\text{nanofarads})$$

$$C = 1/1.1 = 0.91 \text{ nF} \quad \text{ومن ثم}$$

٣ - ٨ الدائرة المكافئة للمكثف

المكثف هو عنصر دائرة مثالى ، ولا ينبغى أن يعبر عن أى خاصية من خواص المقاومة او الحث [انظر الفصل الرابع] ولا يتواجد فى الحياة العملية مثل هذا النوع من الاجهزة المثالية . ولكى نأخذ هذا العيب فى الاعتبار فان احدى الطرق المتبعة تعتبر المكثف كدائرة كهربائية مكافئة وليس كعنصر سعوى مثالى .

ويوضح شكل ٣ - ٧ احدى الدوائر المكافئة للمكثف . وتحتوى الدائرة على مجموعة مكثف مثالى C متصل على التوالي مع مقاومة R_{se} ، بينما وصلت المقاومة R_p على التوازي مع هذه المجموعة . تمثل مقاومة التوالي R_{se} مقاومة اسلاك التوصيل والالواح ومقاومة التلامس بين اسلاك التوصيل والالواح . وتمثل مقاومة التوازي R_p المقاومة التسريبية التى تعبر عن تسرب التيار خلال المادة العازلة وعلى سطح المكثف .



شكل ٣ - ٧ الدائرة المكافئة للمكثف

وتضع هذه المقاومات حدا للقيمة القصوى للتردد الممكن لتشغيل المكثف كما تضع خواص المادة العازلة حدودا لقيمة تردد التشغيل العلوى .

وبالإضافة الى ذلك ، فان تصنيع المكثف يؤدي لظهور محاثه صغيرة من الممكن ان تحدث مع المكثف دائرة رنين عند تردد مرتفع القيمة [انظر الفصل السادس] .

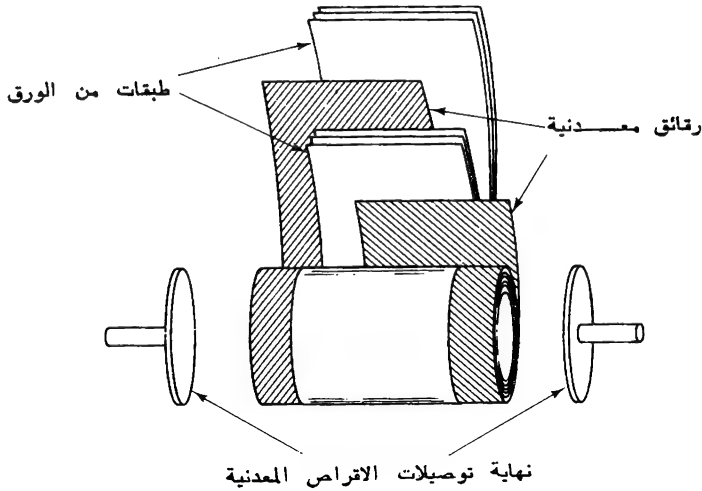
٣ - ٩ أنواع المكثفات

تصنف المكثفات على وجه العموم تبعا لنوع المادة العازلة التى تكون فى العادة من الورق البوليسترن ، الميكا ... الخ . واذا تتغير سعة جميع المكثفات مع القدم وتردد التشغيل والحرارة ، فان تحديد قيمتها المكتوبة يتم باعتبار التشغيل عند الترددات المنخفضة وفى درجة حرارة الحجرة فقط .

المكثفات ذات العازل الهوائى :

تستخدم المكثفات ذات العازل الهوائى اساسيا فى المعامل كسعات قياسية وتتكون المكثفات الهوائية متغيرة السعات من مجموعة الواح ثابتة ومجموعة من الالواح المتغيرة ، بحيث تتغير سعة المكثف كلما تغيرت مساحة الالواح المتداخلة .

المكثفات ذات العازل الورقى : يوضح شكل ٣ - ٨ واحداً من أنواع المكثفات الورقية ، حيث تتكون الاقطاب من رقائق معدنية معزولة بطبقات من الورق المشبع بالزيت او الشمع او سمك مضاعف من البلاستيك . ويتم التوصيل بين الواح المكثف والدائرة الخارجية فى تركيبه الشكل المبين عن طريق التلامس بالضغط .



شكل ٣ - ٨ تركيب واحد من أنواع المكثف الورقى الأنبوبى

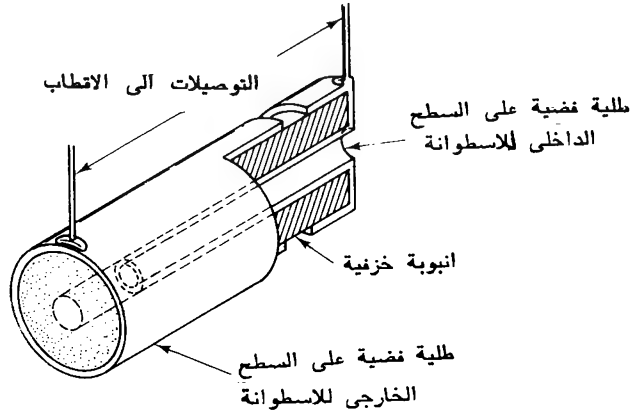
وفى المكثفات المعروفة بالمكثفات ذات الصحائف الورقية المعدنه بمعدن الورق حتى يتلاشى الفراغ الموجود بين الالواح والعازل . واذا قورنت الخواص الاساسية لهذا النوع بالنسبة للأنواع الاخرى الورقية ، نجد أن هذا النوع يتميز بصغر الحجم ومقدرته على أن يبدأ ذاتياً ليصبح صالحاً مرة أخرى بعد حدوث أى انهيار . ففى حالة حدوث ثقب بالورق اذا ما سلبت جهد عابر مرتفع بين طرفى المكثف فسرعان ما يتبخر المعدن فى منطقة الثقب ليمنع وقوع أى قصر كهربائى فى الدائرة .

المكثفات ذات غشاء (film) البلاستيك العازل . وتستخدم هذه الأنواع اغشية من مادة البلاستيك بدلا من صفائح الورق ولهذا النوع استعمالات كثيرة فى التطبيقات الالكترونية . ومن الممكن أن يعطى الاسلوب الفنى للانتاج مكثفات رخيصة الثمن ويمكن الاعتماد عليها لحد كبير ، وعلى وجه العموم ، فان تركيب هذا النوع يماثل المكثفات الورقية ، وبعض المواد العازلة الشائعة هى البوليسترين ، البوليستر ، البوليكربونات ، والبوليبروبلين .

المكثفات ذات العازل المختلط : وتسمح المكثفات التى تدمج المواد العازلة من اغشية البلاستيك مع الورق المشبع بتصنيع مكثفات صغيرة الحجم تعمل على جهود مرتفعة .

المكثفات ذات عازل الميكا : الميكا هى معدن يمكن ان ينشط بيسر الى الواجه رقيقة متجانسة ذات سمك يقع فى المدى من 0.025 mm (0.001 in) الى 0.075 mm (0.003 in) . فى التركيب المتراص الطبقات [انظر شكل ٣ - ٢] ، تتداخل الميكا والرقائق المعدنية على هيئة مكثف متعـدد الالواح بحيث يتم ربطها كلها لتكون وحدة متماسكة . وكما اتبع مع المكثفات الورقية ، فمن الممكن تجنب الفراغات بين رقائق المعدن والعازل ، بمعدنة أحد جوانب الميكا [مكثف الميكا المفضـض] .

المكثفات ذات العازل الخزفى : تحتوى هذه المكثفات على طلية معدنية [عادة فضية] فوق الوجوه المتقابلة لاقراص واقداح وانابيب خزفية . ويبين شكل ٣ - ٩ تركيب احد انواع المكثفات الانبوبية الخزفية حيث يوضح منظر المقطع فى الطرف الايمن كيفية عمل التوصيلة الى الالكترود الداخلى .



شكل ٣ - ٩ مقطع لمكثف انبوبى خزفى

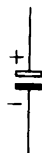
ومن الوجهة الاجمالية ، تنقسم انواع المكثفات الخزفية الى طائفتين هما المكثفات ذات السماحية النسبية المنخفضة القيمة والتي تقع سماحياتها فى المدى من 6 الى 100 ، والنوع الثانى للمكثفات ذات السماحية المرتفعة حيث تقع سماحياتها فى المدى من 1500 الى 3000 .

وتتصف المكثفات ، التى تستخدم مواد عازلة « منخفضة السماحية » ، بسعات على درجة جيدة من الاستقرار وتستخدم فى دوائر الموالة للمذبذبات الالكترونية حتى تستطيع الحفاظ على حصر تردد التذبذبات فى نطاق حدود ضيقة . أما بالنسبة للمكثفات التى تستخدم مواد عازلة « مرتفعة السماحية » ، فانها تغطى سعة اكبر لكل وحدة حجم عن نظيرتها التى تستخدم مواد عازلة منخفضة السماحية ، ولكنها تتعرض لتغير اكبر مدى فى السعة . ويستخدم هذا النوع فى مدى واسع من التطبيقات الالكترونية .

المكثفات الالكتروليتيّة : وتتكون العوازل فى مثل هذا النوع من المكثفات من غشاء اكسيدي رقيق ثم ترسيبه على واحد من لوحى المكثف او على كليهما ، بسّمك للغشاء لا يتعدى جزءا من المليون من السنتيمتر . ونتيجة لذلك ، فان المكثفات الالكتروليتيّة ليست فقط ذات سعة اكبر لكل وحدة حجم بالمقارنة لجميع الانواع الاخرى للمكثفات ، انها هى ايضا ارخص انواع المكثفات لكل قيمة وحدة سعوية . ويوازن كل هذه المميزات ، زيادة تيار التسرب فى المكثفات .

[خصوصا فى مكثفات الالومنيوم الالكتروليتيّة] ، بالإضافة الى التغير الكبير فى قيمة السعة [من % 20 الى % 50 + وفى بعض الانواع الى % 100 +] .

والغالبية العظمى من المكثفات الالكتروليتيّة ، هى مكثفات مستقطبة بمعنى أن فرق الجهد بين اطرافها لا بد وان يكون صحيح القطبية . فاذا عكست قطبية النبطية ، اختل عملها كمكثف ، وقد يمر خلالها تيار كبير ومن المحتمل أن يؤدى ضغط الغاز المتولد فى الداخل الى تصدع الوحدة [ويعنف شديد فى بعض الاحيان !] . ويبين شكل ٣ - ١٠ الاصطلاح المستخدم لدائرة المكثف الالكتروليتي . ويوضح الشكل مكثفا الكتروليا مستقطبا مع بيان القطبية الصحيحة عند تسليط فرق الجهد بين طرفيه .



شكل ٣ - ١٠ اصطلاح دائرة المكثف الالكتروليتي المستقطب

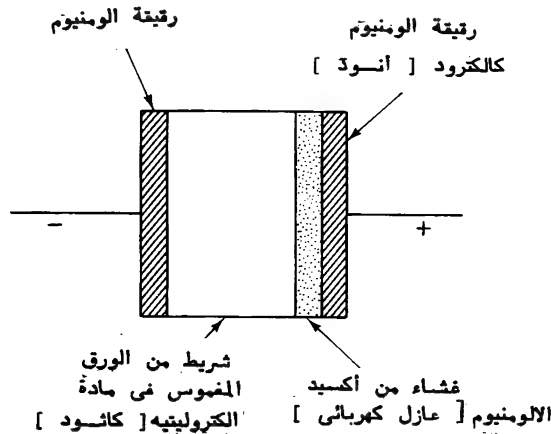
هذا وبالرغم من انه امكن تغطية معادن كثيرة بغشاء اكسيدي الا انه وجد ان الالومنيوم والتنتاليوم يظهران احسن خواص لاستعمالات المكثف الالكتروليتي . وسنوضح فيما بعد فكرة عمل المكثفات التى تستعمل هاتين المادتين .

هذا وبعد فترات طويلة من الضمول ، أى اذا تم تخزين هذه المكثفات لعدة اشهر فان المادة الالكتروليتيّة تحتاج الى اعادة تشكيل [ونقصد بهذا مكثفات الالومنيوم الالكتروليتيّة على وجه الخصوص] . وتتم هذه العملية بتسليط الجهد المقتن تدريجيا خلال مقاومة قيمتها $10\text{ k}\Omega$ حتى ينخفض تيار التسرب الى قيمته المقتنة . فاذا لم تتم هذه العملية بهذه الكيفية ، وتم تسليط الجهد الكامل مرة واحدة ، فسوف تنجم مخاطرة احتمال زيادة تيار البدء التسربى ، لدرجة تكفى لتوليد ضغط مفرط للغاز داخل المكثف ، مع ما يظلو ذلك من خطورة حدوث انفجار .

مكثفات الألومنيوم الالكتروليتيّة : يوضح شكل [٣ - ١١] التركيب الاساسى لمكثفات الألومنيوم الالكتروليتيّة المستقطبة . يغطى سطح الانود [القطب الموجب] المكون من رقيقة معدنية بغشاء أكسيدى مكونا للعازل بسماحية نسبية تتراوح بين 7 - 10 . وتتلامس رقيقة الكاثود [القطب السالب] مع الكترود الكاثود الفعلى المكون من شريط من الورق المغموس فى مادة الكتروليتية مثل بورات الامونيوم . ويشابه التركيب المادى للمكثفات الانبوية ، بصفة عامة ، ما هو موضح فى شكل [٣ - ٨] على أن يتم لف الورق المشبع مع رقائق الألومنيوم بشكل اسطوانى .

وتصنع المكثفات الالكتروليتيّة غير المستقطبة بترسيب طبقات الأكسيد فوق سطحى الرقيقتين [الانود والكاثود] للعمل مع مصادر الجهد المستمر او الجهد المتردد .

وهناك سمة للمكثفات الالكتروليتيّة ، عند الترددات العالية ، تؤدى لان تبدو وكأنها ملفات محاثة بالنسبة للدائرة الخارجية . ومن الممكن التغلب على هذه الظاهرة فى بعض الاحيان بتوصيل مكثف بوليكرتونات صغيرة السعة ، مثلا ، على التوازي مع المكثف الكتروليتى .



شكل ١١ - ٣ التركيب الاساسى لمكثف الألومنيوم الالكتروليتي المستقطب

مكثفات التانتالوم الالكتروليتيّة : يتواجد نوعان من مكثف التانتالوم احدهما يستخدم الرقائق المعدنية كالكترود [أقطاب] ، والاخر يستخدم قلب تانتالوم كاثود . ويشابه تركيبه مكثفات رقائق التانتالوم مثيلاتها من انواع مكثفات رقائق الألومنيوم .

ومع أن مكثفات التانتالوم اكثر تكلفة لكل ميكروفراد من مكثفات الألومنيوم الالكتروليتيّة ، الا انها اكثر مدعاة للاعتماد عليها بالإضافة إلى أن حجمها المادى اصغر من نظيراتها من مكثفات الألومنيوم ، مما يؤدى الى قيمة اصغر لتيار التسرب ، وامكانية عدم التشغيل [بدون مشاكل] مدة اطول ، بالإضافة الى قلة تغير الكثافة السعوية مع درجة الحرارة عن مكثفات أكسيد الألومنيوم .

٣ - ١٠ الرموز الاصطلاحية للالوان والحروف المكثف

نستخدم مجموعة من الرموز الاصطلاحية للمكثف ، تشتمل على نظام نطاق الالوان ونظام . بدون - نهاية - نقطة . وكما سبق بالنسبة للمقاومات فى الجزء ٢ - ٣ . وتعطى نطاقات او نقط اخرى ، بيانات اضافية عن الجهد المقنن وعن معامل المكثف الحرارى .

وتستخدم الرموز الاصطلاحية ، بصفة عامة ، للمكثفات كما وصفت بالنسبة للمقاومات فى الجزء ٢ - ٢ ، مع الاستثناءات التالية . اذ تحدد مواقع العلامات العشرية ، وقيمة المضاعف العشرى ، بالنسبة للمكثفات ، بالحروف الابجدية المميزة التالية .

الحرف	المضاعف
m	$10^{-3} = 1/1\ 000$
μ or u	$10^{-6} = 1/1\ 000\ 000$
n	$10^{-9} = 1/1\ 000\ 000\ 000$
p	$10^{-12} = 1/1\ 000\ 000\ 000\ 000$

وهكذا يكتب $1pF$ على صورة $1\ p0$ ويكتب $10\ nF$ على صورة $10\ n$ ويوضح المثال الاتى ايضا استخدام رموز الحروف B S 1852 الخاصة بالتفاوت المسموح به [انظر الجزء ٢ - ٢] .

$$2n2K = 2.2\ nF \pm 10\%$$

$$47\mu N = 47\ \mu F \pm 30\%$$

٣ - ١١ الثابت الزمنى للدائرة السعوية

لقد نوقش باختصار فى الفصل ٣ - ٥ ، عملية شحن وتفريغ المكثف . وحيث أن المكثف والمقاومة يستخدمان بكثرة فى دوائر النبضات الالكترونية وفى دوائر التوقيت فالامر يتطلب التوضيح هنا بمزيد من التفصيل .

يتحدد التوقيت فى هذه الدوائر ، بالطريقة التى يتغير بها الجهد بين طرفى المكثف او بين طرفى المقاومة فى دائرة تشابه تلك الموضحة فى شكل ٣ - ١٢ [١] . هذا ويوجد بارامتر مفيد لمثل هذه الدوائر هو الثابت الزمنى ورمزه τ [وهو حرف يونانى ينطق تاو] حيث

$$\text{ثابت الدائرة الزمنى } RC = \tau \text{ ثانية}$$

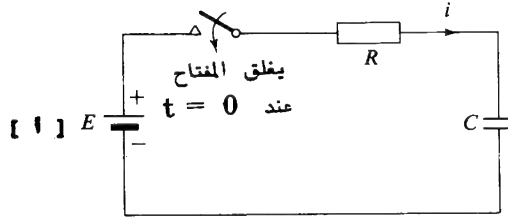
حيث R هى مقاومة الدائرة الموضحة فى شكل ٣ - ١٢ [١] بالاووم و C هى سعة المكثف بالفاراد . وكطريقة بديلة فقد يكون من الانسب أن تحسب

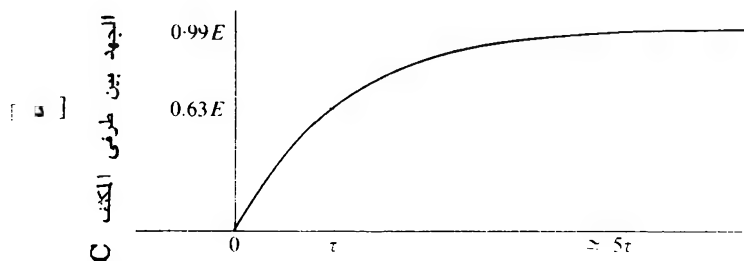
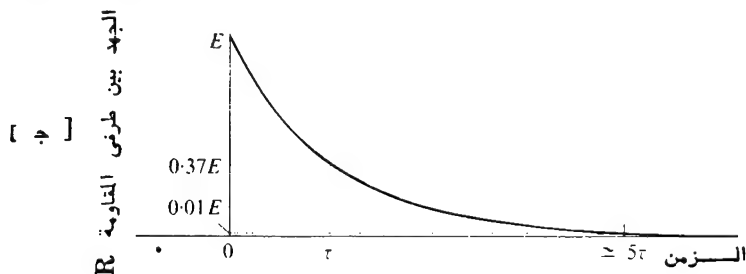
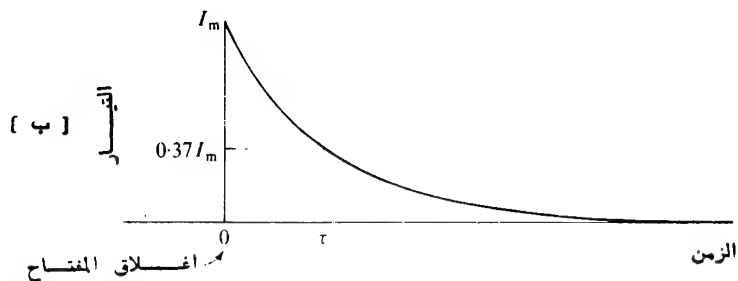
باستخدام قيمة R بالميجا أوم وقيمة C بالميكروفاراد . فإذا كانت $R = 470 \text{ k}\Omega$ فإن [حيث $R = 0.47 \text{ M}\Omega$]

$$\tau = RC = 0.47 \times 1.0 = 0.47 \text{ s}$$

ومن الممكن اثبات أن الزمن الذى يستغرقه تيار الشحن للدائرة الموضحة فى شكل ٣ - ١٢ [أ] من أجل أن يضمحل إلى ٣٧ فى المائة من قيمته الابتدائية يساوى قيمة τ [لمزيد من التفاصيل ، انظر الفصل الخامس من كتاب الالكترونيات المتقدمة لـ Noel M. Morris ونشره Mc Graw Hill] . ويستغرق اندفاع التيار الابتدائى زمنا قدره 0.47 ثانية ، فى الحالة السابق عرضها ، لكى يضمحل إلى 37 فى المائة من قيمته الابتدائية . ويمكن توضيح الشكل الموجى لكل من الجهد والتيار فى الدائرة بالاشكال [ب] ، [ج] ، [د] من الرسم فبعد فترة زمنية تعادل ثابت الدائرة الزمنى ، يتضح من هذه الاشكال أن قيمة جهد المقاومة قد اضمحل من قيمة تساوى E إلى قيمة تعادل 37 فى المائة من E وأن جهد المكثف قد تزايد من الصفر إلى 63 فى المائة من E .

وتعرف الفترة الزمنية التى تتغير خلالها الجهود المبينة بالمنحنيات [أ] و [د] بالفترة العابرة لتشغيل الدائرة . ومن المفيد بالنسبة لكثير من الدوائر أن نستطيع تقدير الفترة الزمنية للمرحلة العابرة . يقال أن التغيرات العابرة قد انتهت فى الدائرة عندما يضمحل جهد المقاومة إلى واحد فى المائة من قيمته الابتدائية وفى الوقت نفسه يصل جهد المكثف إلى 99 فى المائة من قيمته النهائية . ومن الممكن اثبات [للتفاضل انظر المرجع الموضح عليه] أن التغيرات العابرة تضمحل فى فترة زمنية تعادل خمسة اضعاف الثابت الزمنى ابتداء من لحظة قفل المفتاح . وباستخدام القيم المعطاة عليه ، فإن التغيرات العابرة تضمحل فى زمن قدره



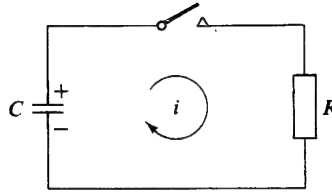


شكل ٢ - ١٢ الثابت الزمني لدائرة التوالي المكونة من RC

وعلى نفس المنوال . بالنسبة لحالة تفريغ المكثف . حيث يوضح شكل ٣ - ١٣ الدائرة المستخدمة . فانه لكي يضمحل جهد المكثف لواحد في المائة من قيمته الابتدائية يستلزم الامر ان يكون

$$\text{زمن التفريغ} = 5 \times \text{الثابت الزمني} = 5RC = 5\tau$$

ومن الممكن ان يعرف الثابت الزمني ايضا بدلالة دائرة التفريغ المبينة في شكل ٣ - ١٣ ، على انه الزمن الذي يستغرقه جهد المكثف لكي يصل الى ٣٧ في المائة من قيمته الابتدائية . اذا كان المكثف قد تم شحنه بجهد قدره 10V وكان الثابت الزمني لدائرة التفريغ هو 5 ms فان جهد المكثف يضمحل الى $3.7V = 0.37 \times 10$ في زمن قدره 5 ms ويضمحل جهد المكثف ابتداء من لحظة التفريغ الى واحد في المائة من 10 V = 0.1V في زمن قدره 5 tau او 25 ms .



شكل ٢ - ١٣ ثابت التفريغ الزيفى للمكثف

٣ - ١٢ الاسلوب الفنى للتشكيل الموجى - المفاضلات والمكاملات

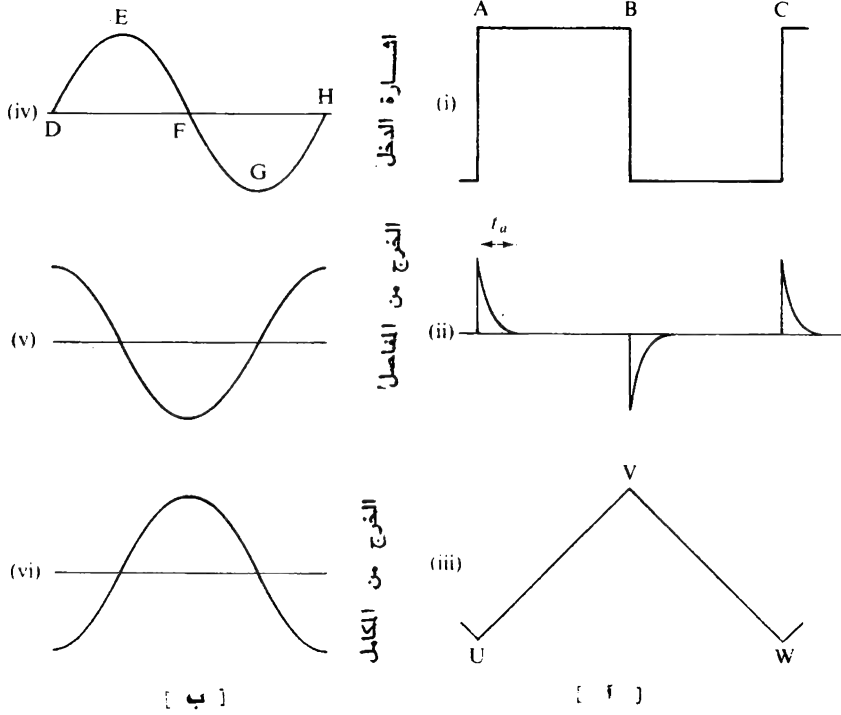
يستلزم الامر فى كثير من التطبيقات ان نقوم بتعديل هيئة الاشكال الموجية التى يتسنى استخدامها لاداء اغراض اخرى . لنعتبر ، على سبيل المثال ، الاشارات المولدة فى اجهزة استقبال التلفزيون ، والتى يضمحل عنها حزمة من الالكترونات فى انبوبة الاشعة الكاثودية [انظر الفصل السادس عشر ايضا] . لفرسم نموذجا فوق وجه الانبوبة . وحتى يمكن الحصول على نقطة تقارب صحيحة فوق وجه الانبوبة ، نجد انه اذ يلزم ان تكون ترددات الاشارة الموجودة ، فى الاحوال العادية ، مطابقة ، الا ان شكلها الموجى يجب ان لا يكون مطابقا لها . وفى مثل هذه التطبيقات ، تستخدم دوائر التشكيل الموجى فى التلفزيون الملون لى تؤدى الى التقارب الصحيح

وتعرف الانواع الاساسية لدوائر التشكيل الموجى بدوائر التفاضل ودوائر التكامل ، وتظهر هذه الاسماء نتيجة للعمليات الرياضية من تفاضل وتكامل على الترتيب . وبصفة مؤقتة ، يمكن اعتبار هذه الدوائر كأنها داخل « صناديق سوداء » الكترونية ، ولها طرفا دخل وطرفا خرج . وتجرى هذه الصناديق [الدوائر] العمليات التالية :

[ا] **المفاضل** : تتناسب القيمة اللحظية لسعة خرج الموجة من المفاضل مع معدل تغير سعة موجة الدخل .

[ب] **المكامل** : تتناسب القيمة اللحظية لمعدل تغير سعة موجة الخرج للمكامل مع سعة موجة الدخل .

ويوضح شكل [٣ - ١٤] الكيفية التى تعدل بها هذه الدوائر من شكلين موجيين يتواجدان بكثرة فى مجال الالكترونات . ويعرف الشكل المبين فى شكل ٣ - ١٤ [ا] ، بالموجة المربعة او المستطيلة نظرا لطبيعة شكلها ، وتتواجد على وجه العموم فى دوائر الفصل الكترونية حيث تتغير قيمة اشارة الجهد بين مستويين بسرعة .



شكل ٢ - ١٤ شكل موجات الدخل والخروج من دوائر المفاضل والمكامل ا موجة دخل مربعة ب موجة دخل جسية

لنأخذ في الاعتبار الشكل الموجي . للموجه (ii) والذي يظهر عند خرج المفاضل والذي سبق ادخال موجة مربعة بين طرفي دخله . فيلاحظ أن تغيرا مفاجئا يحدث للموجة المربعة في الاتجاه الموجب عند اللحظة A ، وطبقا لما تؤديه دائرة المفاضل ، يتناسب خرج دائرته مع معدل تغير جهد الدخل . أي أنه عند اللحظة A . يتعاضد جهد الخرج ويكون موجبا في الوقت نفسه . وحيث أن جهد الدخل يظل ثابتا بين النقطتين A . B فإن معدل تغيره يصبح منعدما ، وبالتالي فإن قيمة خرج المفاضل والمناظر لتصبح أيضا صفرا [انظر شكل الموجة (ii)] . وبالنسبة للمفاضلات المستخدمة عمليا ، يستغرق جهد الخرج فترة زمنية قدرها t_a لكي تؤول قيمته الى الصفر . علما بأن ثابت دائرة المفاضل الزمني هو الذي يحدد هذه الفترة من الزمن التي من الممكن أن تتصاغر قيمتها الى بضعة نانوم من الثانية . وينخفض جهد الدخل ، عند النقطة B ، بسرعة مفاجئة لادنى مستوى له ، بحيث يتعاضد معدل تغير جهد الخرج ويكون سالبا في الوقت نفسه . وتصبح قيمة خرج الجهد بالتالي ، عند هذه اللحظة منعاطمة وسالبة في الوقت نفسه ، وكما سبق ، يصبح جهد الدخل ثابتا بين النقطتين C ، B [لانعدام معدل تغير الجهد] بحيث يتخذ جهد الخرج للمفاضل قيمة الصفر مرة أخرى وذلك بعد انتهاء الفترة العابرة

بالنسبة للخروج وعند النقطة C يزداد جهد الدخل بسرعة فى الاتجاه الموجب — ليعطى جهدا سنيليا موجيا عند الخروج .

والان دعنا نأخذ فى الاعتبار شكل موجة خرج من دائرة المكامل والذى سبق تسليط موجة مربعة بين طرفيه . ان جهد الدخل بين النقطتين A و B يظل ثابتا وموجيا ، وطبقا لما تؤديه دائرة المكامل ، يتخذ معدل تغير جهد الخروج منها قيمة ثابتة وموجبة ، أى ان جهد الخروج يزداد بانتظام مع الزمن ومن الممكن ايضا ذلك من الشكل الموجى (iii) حيث يزداد جهد خرج المكامل ، بانتظام مع الزمن ، بين النقطتين U ، V . ويتخذ جهد الدخل قيمة ثابتة وسالبة فى الفترة الزمنية بين النقطتين B و C ، وبالتالي يتخذ معدل تغير جهد الخروج من المكامل قيمة ثابتة وسالبة ، أى ان جهد الخروج للمكامل يتناقص مع الزمن . مرة أخرى ، عند اللحظة C ، يصبح جهد الدخل موجيا ، عندما يبدأ جهد الخروج من المكامل فى الزيادة بانتظام فى الاتجاه الموجب .

يوضح الوصف السابق كيف ان الموجة المربعة الشكل ٣ — ١٤ [١] ، شكلت بواسطة المفاضل لتعطى نبضات متوالية [الشكل الموجى ii] ، او موجة مثلثة [الشكل الموجى iii] ، بواسطة المكامل .

لنأخذ فى الاعتبار الان الطريقة التى تشكل بها الموجة الجيبية [الشكل الموجى iv فى شكل ٣ — ١٤] [ب] بنوعى دائرتى التفاضل والتكامل .

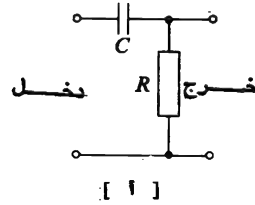
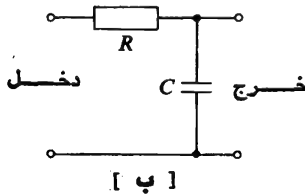
لنعتبر أولا الخروج [الشكل الموجى V] من دائرة المفاضل . فى اللحظة D ، يتخذ معدل تغير الشكل الموجى للدخل أكبر قيمة موجبة ، ويتناقص ميل موجة الدخل بين النقطتين D ، E حتى نصل الى النقطة التى يصبح الميل عندها صفرا . بالتالى تتلاشى قيمة جهد الخروج من المفاضل اثناء هذه الفترة وتتخذ قيمة الصفر عند E . ويصبح ميل موجة الدخل سالبا بين النقطتين E ، G ويقع أكبر معدل تغير عند F . ويتخذ جهد الخروج من المفاضل ، بالتالى قيمة سالبة بين النقطتين E و G وبأكبر قيمة له عند F .

اما اذا سلطت موجة جيبية بين طرفى دائرة تكامل فانه بالاستعانة بفكرة عمل دائرة المكامل السابقة تتخذ موجة الخروج شكل المنحنى (vi) فى شكل ٣ — ١٤ [ب] .

ويلاحظ ان دائرة المفاضل او المكامل لا تغير شكل الموجة الجيبية ولكن تغير موضعها بالنسبة للزمن ، أى ان ، شكل موجة الخروج قد ترحزح زمنيا . وتستخدم هذه الخاصية فى كثير من دوائر المذبذبات الالكترونية وكذا فى الدوائر الالكترونية المستخدمة فى التحكم فى الثايرستور والتحكم فى الاضاءة بالترياك وفى نظم التحكم فى المحركات .

٣ - ١٣ دوائر المفاضل والمكامل المكون من RC

يوضح شكل ٣ - ١٥ [١] ، [ب] ، الدوائر المحتوية على مقاومات ومكثفات فقط والتي تحقق اغراض كل من المفاضل والمكامل على الترتيب .
وكمطلب هام بالنسبة لدائرة التفاضل ، لابد ان تكون قيمة الثابت الزمني [حاصل ضرب RC] اقل بكثير من الزمن الدوري للموجة المراد تفاضلها .
او بمعنى آخر ، لابد ان تكون قيمة الثابت الزمني اقل بكثير من الفترة الزمنية المناظرة بين C, A في الرسم (i) من شكل ٣ - ١٤ [١] او اقل بكثير من الفترة الزمنية بين H و D في الرسم (iv) من شكل ٣ - ١٤ [١]
وقد يكون عشر الزمن الدوري للموجة ثابتا زمنيا شائعا بالنسبة للمفاضل .



شكل ٣ - ١٥ [١] دائرة مفاضل مكونة من RC [ب] دائرة مكامل مكونة من RC

ولابد ان يكون الثابت الزمني ، في حالة المفاضل ، اكبر بكثير من الزمن الدوري للموجة وينبغي ان تبلغ قيمة الثابت الزمني الشائع لدائرة المكامل ، حوالي عشر مرات الزمن الدوري للموجة المراد تكاملها .

اذا سلطت موجة زمنها الدوري 10 ms على كل من الدائرتين ، فانه

$$RC = \frac{10 \text{ ms}}{10} = 1 \text{ ms} \quad \text{بالنسبة للمفاضل}$$

$$RC = 10 \times 10 \text{ ms} = 100 \text{ ms} \quad \text{بالنسبة للمكامل}$$

٣ - ١٤ المكثفات في دوائر التيار المتردد

لقد اقتصرنا معالجتنا ، الى حد كبير ، في هذا الفصل للمكثفات المرتبطة بدوائر التيار المستمر . وسوف يتضح في الفصل السادس كيف تؤدي المكثفات وظائفها في دوائر التيار المتردد .

الفصل الرابع

ملفات المحاثات

ملفات المحاثات او الملفات هي احدى عناصر الدوائر الالكترونية المستخدمة بكثرة دائما ما يساء استخدامها إما بحمل فوق الطاقة او تسخين اكثر مما ينبغي بالإضافة الى أنها توصل دائما فى الأماكن البعيدة المنال . وبالرغم من ذلك، فان هذه الملفات تعتبر ضمن اكثر العناصر التي يعتمد عليها فى الدوائر الالكترونية . ويقع الانهيار الكهربى للمفات المحاثات عادة نتيجة لانهيار بعض المكونات الاخرى التى تسبب حملا زائدا على الملف .

٤ - ١ التشغيل والتركيب

ملفات المحاثات هي ملفات سلكية ولها قلب هوائى أو قلب حديدى أو قلب فريت ferrite . ويتسبب عن مرور التيار الكهربائى فى الملف ، فيض مغناطيسى فى القلب ، وتعرف قابلية الملف لانتاج الفيض بالحث الذاتى أو ببساطة بالمحاثات ويرمز لها بالرمز L . وبالنسبة لقيمة معطاة للتيار ، يتزايد الفيض المغناطيسى الناتج مع ازدياد قيمة محاثات الملف . والهترى هو وحدة المحاثات ويرمز له بالرمز H . ويعرف الحث الذاتى للملف بالمعادلة الاتية :

$$\text{عدد لفات الملف} \times \text{الفيض المغناطيسى الناتج} = L = \text{المحاثات}$$
$$\frac{\text{التيار المار فى الملف}}{N\Phi} = \text{هنرى (H)}$$

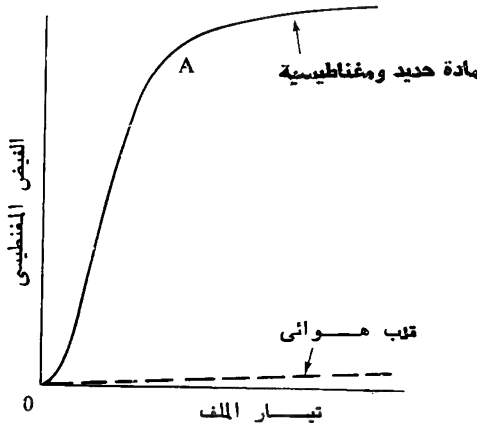
حيث Φ [رمز يونانى Phi] هو الفيض المغناطيسى الناتج من الملف بالويبر [رمزه Wb] . واجزاء الهترى الشائعة هي الميلى هنرى (mH) والميكروهنرى (μ H) والبيكوهنرى (pH) .

ويختلف المدى المستخدم لقيمة المحاثات فى الدوائر الالكترونية من ميكرو هنرى للملفات المستخدمة فى معدات أجهزة الاتصالات ذوات الترددات

العالية الى عدة مئات من وحدات الهنرى للملفات المستخدمة فى شبكات القوى . ويرتبط الرقم الصغير جدا والمشار اليه سابقا مع لفة واحدة من السلك مثلا حول قلب من الهواء . ويمكن الحصول على القيمة المرتفعة بعدة مئات أو الوف من اللفات السلكية الملفوفة على قلب حديدى .

٤ - ٢ المواد المغناطيسية

لزيادة محانة الملف بدون زيادة عدد لفات السلك ، لابد من استخدام قلب مصنوع من مادة حديدومغناطيسية . المواد الحديدومغناطيسية هى الحديد او سبائك الحديد المحتوى على النيكل او الكوبلت والتي لها محنى علاقة الفيض المغناطيسى مع التيار كما فى شكل ٤ - ١ . ومن اجل المقارنة فقد اوضح بنفس الشكل العلاقة بين الفيض المغناطيسى والتيار عندما يكون القلب الملفوف عليه الملفات من الهواء ، وسيلاحظ القارئ مدى الزيادة الجوهرية للفيض المغناطيسى الناتج نتيجة استعمال قلب مصنوع من مادة حديدومغناطيسية .



شكل ٤ - ١ العلاقة بين الفيض المغناطيسى والتيار للمواد الفيرومغناطيسية .

ويتزايد الفيض المغناطيسى فى القلب بسرعة بين النقطتين 0 و A ، وتعرف النقطة A على الرسم بمفصل أو كوع المنحنى . وابتداء من هذه النقطة يتقلطح المنحنى وعندها يقال ان المادة المغناطيسية قد تشبعت ، وبعد بداية التشبع ينتج زيادة طفيفة فى الفيض المغناطيسى مع أى زيادة كبيرة فى التيار .

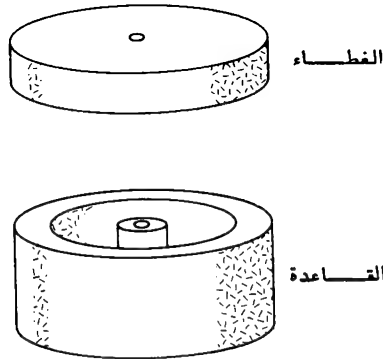
وتتميز المواد الحديد ومغناطيسية ، بالصغر الملحوظ للمقاومتها فاذا انتج بالحث او بالتأثير فى المادة ق.د.ك فانه ينتج عنها تيار موضعى [يعرف بالتيار الدوامى] يتخذ مسارا دائريا بها . ويزيد هذا التيار من القدرة الكهربائية المفقودة فى المادة مع اجهزة التردد العالى مما يؤدى الى حرج نظرا لعدم امكانية استيعاب هذه القدرة المفقودة . وتشمل

الطرق المستخدمة للتقليل من هذه القدرة المفقودة ، استعمال قلب من رقائق الحديد يتكون من رقائق رقيقة تستخدم بطريقة تؤدي الى زيادة مقاومة دائرة الحديد لسريان التيار الدوامى . وهناك طريقة بديلة اخرى تستخدم قلبا من مسحوق الحديد او قلبا من البرادة المصنوع من مسحوق الحديد الناعم الذى يلصق على الشكل المطلوب . هذا وتصبح مقاومة المادة مرتفعة جدا نتيجة لمثل هذا التركيب .

وتستخدم ايضا مواد تعرف بالفيريتات ferrites كقلوب مغناطيسية فى كثير من ملفات المحاثات بالنسبة لاستخدامات الترددات العالية . والفيريتات هى مواد خزفية لها خواص مغناطيسية مشابهة للحديد ، ولكنها تعتبر عوازل من الوجهة الافتراضية .

وبالتالى تصبح القدرة المفقودة فى القلب المصنوع من الفريت صغيرة حيث ان قيمة التيار الدوامى منخفضة وهذا النوع من المادة قابل للتقصيف ويمكن بسهولة ان يتحطم بالاستعمال غير الواعى ، وتستهمل قلوب الفريت بكثرة فى تركيب ملفات مستقبل الراديو المتنقل وفى استخدامات الاتصالات الكهربائية .

وتستخدم فى كثير من الملفات قلوب من الفريت على شكل وعاء pot كما هو موضح بالشكل [٢ - ٤] وتسمى القلب الوعائى بسبب شكلها . ويركب دليل تشكيل الملف حول القلب الاسطوانى المركزى من الجزء



شكل ٢ - ٤ قلب وعائى من الفريت

الاسفل . هذا ويتم توصيل القاعدة مع الغطاء ليكونا مسارا مغناطيسيا متصلا . ومن الممكن ضبط محاثة الملف لحد ما أما بتغيير الفجوة الهوائية بين الغطاء والقاعدة او بالتحكم فى مسار ملولب يمكن ان يتحرك لداخل او خارج مركز قلب الوعاء .

٤ - ٣ مواد الحجب المغناطيسى

تنتج المجالات المغناطيسية فى عديد من المعدات الصناعية مثل المحولات والمغناطيسيات الكهربائية ... الخ . ويتسبب عنها ظهور ق.د.ك مستحثة بالاجهزة الالكترونية عند تعرضها لهذه المجالات . ويؤدى هذا الى حدوث تداخل كهربائى يعرف باسم الضوضاء الكهربائية وقد يتسبب عن ذلك اختلال اداء بعض الدوائر . وللتقليل من التداخل نتيجة لهذا السبب تحجب الاجهزة الحساسة بوضعها فى وعاء مصنوع من احدى سبائك الحديد والنيكل مثل « الميوميتال » وهى سبيكة شديدة التأثير بالمغناطيسية ويؤدى هذا الساتر لحدوث قصر مغناطيسى حول الاجهزة فيما يختص بالمجال المغناطيسى الخارجى . ويعتبر اللوح المعدنى ، الذى يغلف معظم المعدات الصناعية ، ساترا مغناطيسيا ضعيفا للتجمع الرئيسى لهذه المعدات .

٤ - ٤ القوة الدافعة الكهربائية المستحثة ذاتيا

(ق . د . ك المعارضة) فى الملف

تسبب خاصية الحثية الذاتية للملف ظهور الـ ق.د.ك مستحثة كلما تغيرت قيمة التيار المار فى الملف . وتعرف هذه الـ ق.د.ك بالـ ق.د.ك المعارضة أو ، الـ ق.د.ك المستحثة ذاتيا . ويتحدد على الدوام اتجاه او قطبية هذه الـ ق.د.ك الذاتية بحيث تعاكس التغير فى التيار الذى يسبب هذه الـ ق.د.ك [وهذا القول يعتبر قانونا أساسيا فى الكهرومغناطيسية كما عبر عنه لأول مرة الفيزيائى Heinrich Lenz ويعرف بقانون Lenz] أو بمعنى آخر ، اذا اتجهت قيمة التيار فى الملف للزيادة فان الـ ق.د.ك المستحثة تعاكس هذه الزيادة ، واذا اتجهت قيمة التيار فى الملف الى التناقص فان الـ ق.د.ك المستحثة الذاتية تعاكس ايضا هذا التناقص فى التيار .

ولعل هذه الظاهرة الموضحة عاليه ، بالذات ، هى التى جعلت من الحثية اداة مفيدة فى دوائر التيار المتردد (a.c) . فالـ ق.د.ك المعارضة والمستحثة نتيجة تغير التيار يمكن أن تستخدم للحد من قيمة التيار نفسه . وستوضح هذه الخاصية أكثر من ذلك فى باب دوائر التيار المتردد [الفصل السادس] . وبالتالي فتبعا لما ذكر سابقا فان بعض أنواع الملفات المستخدمة فى دائرة التيار المتردد توصف كملفات خائفة ، أو ببساطة كخوائق .

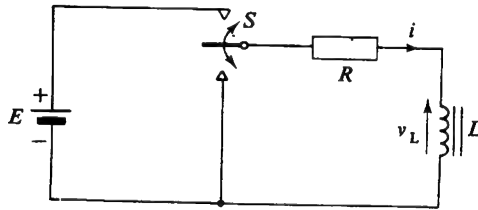
٤ - ٥ ازيد واضمحلال التيار فى دائرة محاثية

توجه عناية فى علم الالكترونيات الى سرعة قفل او فصل الدائرة الكهربائية التى تتضمن ملفا . فمثلا ، بالنسبة لبعض الانواع من الدوائر المنطقية الالكترونية ، قد تضطر نبطة الخرج [دائما ترانزستور] لا يصل التيار فى دائرة المرحل (relay) من قيمة الى اخرى فى زمن قليل جدا وفى دوائر الالكترونيات القوى الكهربائية قد يصبح من المحتمل أن يتغير التيار المار خلال ملفات المجال او خلال عضو الانتاج الكهربائى لالات التيار المستمر بسرعة . لذلك يصبح امرا فى غاية الحيوية ان نتفهم كيفية تزايد واضمحلال التيار فى دوائر المحاثية .

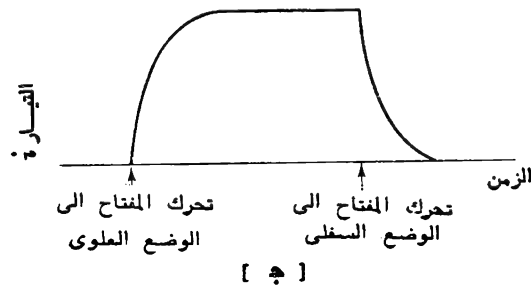
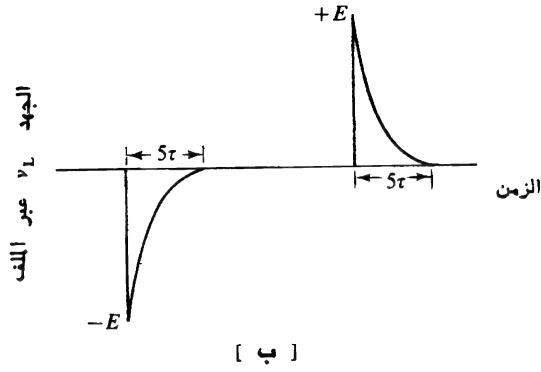
وقد تمكنا الدائرة الموضحة فى شكل ٤ - ٣ [أ] من دراسة عمل دوائر المحاثية فى أحوال التوصيل او القطع . ففى البداية ، يوضع المفتاح الكهربائى S فى الوضع المتوسط وتكون قيمة التيار المار فى الدائرة مساوية للصفر . فعند تحرك نصل المفتاح الكهربائى الى الوضع العلوى، يتصل الملف بالمنبع ، ويميل التيار المار بالملف الى الزيادة . وكما وضع فى الجزء ٤ - ٤ ، ينتج أن الـ ق.د.ك المستحثة ذاتيا تعاكس جهد البطارية . وكما هو موضح فى الشكل ٤ - ٣ [ب] تكون القيمة المبدئية للـ ق.د.ك المعارضة مساوية لقيمة جهد المنبع E بحيث أن مجموع الـ ق.د.ك فى الدائرة يساوى صفرا [مثل ما تساويه قيمة التيار] وتضمحل الـ ق.د.ك المعارضة ببطء وتتزايد قيمة التيار ، فى نفس الوقت ، تدريجيا حتى تصبح قيمة الـ ق.د.ك المعارضة صفرا ، ويكون التيار قد وصل الى قيمته العظمى [انظر شكل ٤ - ٣ ج] . هذا ويرتبط الزمن الذى استغرقه التيار ليصل الى قيمته العظمى مع الثابت الزمنى τ لدائرة المقاومة والملف (RL) ، ويعطى بالمعادلة .

$$\text{الثابت الزمنى} = \tau = \frac{L}{R} \text{ ثانية}$$

حيث L هي المحاثية الذاتية للدائرة بالهنرى و R مقاومة الدائرة بالاوهم



[أ]



شكل ٤ - ٢ تزايد واضمحلال التيار في دائرة المحثنة .

فإذا ما احتوت دائرة على محث ذاتية قيمتها 120 mH ومقاومة مقدارها فان ثابتها الزمني هو

$$\tau = \frac{120 \text{ mH}}{10 \Omega} = \frac{120 \times 10^{-3} \text{ H}}{10 \Omega} = 12 \times 10^{-3} \text{ s} = 12 \text{ ms}$$

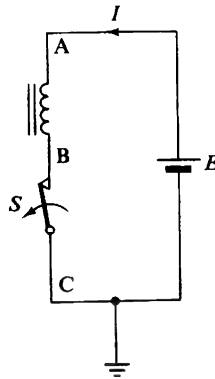
وبمثل هذه القيمة من الثابت الزمني ، يستغرق التيار زمنا قدره

$$5\tau = 5 \times 12 = 60 \text{ ms}$$

لكي يصل الى قيمته النهائية بعد ائصال المصدر للدائرة [تحليل هذه الدائرة معطى في الفصل الخامس من كتاب الالكترونيات المتقدمة لمؤلفه Noel. M. Morris ، ونشره (Mc. Graw — Hill) وبعد مرور الفترة العابرة يظل التيار المار في الدائرة ثابتا وتصبح الـ . ق.د.ك المعارضة مساوية للصفر . وفي خلال هذه الفترة من التشغيل ، يتساوى فرق الجهد على طرفي الملف مع هبوط الجهد عبر المقاومة الداخلية للملف . وفي العادة ، تكون قيمة فرق الجهد الثابت صغيرة . فمثلا بالنسبة لملف ذي محث 150 mH وتياره المقتن 0.9 A تكون قيمة مقاومة الملف حوالي 2.5 Ω ، فعندما يمر أقصى تيار ، يصل فرق الجهد بين طرفي الملف الى ما يقارب 2.25V فقط .

وفىما يلى سنفترض أن المفتاح S الموضح فى شكل ٤ - ٣ [١] مثاليا وأن نصله يمكن أن يتحرك من الموضع العلوى الى الموضع السفلى فى زمن قدره صفرا . فعندما يحدث هذا التحرك فإن دائرة الـ RL تصبح فى حالة قصر ، ويبدأ التيار المار خلال الملف لحظيا فى الازمحلال . ومرة اخرى ، تلعب قوانين الطبيعة دورها ، اذ تستحث فى الملف ق.د.ك معارضة وفى اتجاه يعاكس التغير فى التيار ، أى أن اتجاه الـ ق.د.ك المستحثة ذاتيا يتحدد بحيث تحاول الإبقاء على قيمة التيار الاصلية فى الدائرة . وتضمحل قيمة ق.د.ك المستحثة ببطء ومعها فى نفس الوقت يضمحل التيار المار فى الملف ايضا . مرة اخرى ، يستغرق التيار فترة زمنية تعادل حوالى خمس مرات الثابت الزمنى لكى يضمحل الى قيمة فى غاية الصغر [انظر شكل ٤ - ٣ [ج]] .

ويوضح شكل [٤ - ٤] أساس عمل كثير من الدوائر الالكترونية المستخدمة لإيصال او قطع التيار فى دائرة مرحل . فالمفتاح S [المبين فى الوضع الموصل] يستعاض به ، من أجل التبسيط ، عن المفتاح الالكترونى الذى يمكن أن يكون واحدا من عديد من النبط التى تشمل الترانزستور والثايرستور والترياك . فعند فتح S ، تحاول الـ ق.د.ك المعارضة التى تستحث فى الملف ، أن تحافظ على دوام انسياب التيار فى الدائرة



شكل ٤ - ٤ : الوضع القائم فى معظم الدوائر الالكترونية .

ويتضح من المناقشة السابقة أن قطبية الـ ق.د.ك . المستحثة ذاتيا فى الملف تتحدد تحت هذه الظروف بحيث تساعد الـ ق.د.ك حتى تحافظ على دوام انسياب التيار . وكلما زادت سرعة فتح المفتاح S ، كلما ازدادت قيمة الـ ق.د.ك المستحثة ذاتيا فى الملف ، حتى يتسنى لها المحافظة على دوام انسياب التيار . وحيث أن الـ ق.د.ك المستحثة ذاتيا فى الملف تضاف الى جهد المصدر فإن جهد النقطة B بالنسبة الى النقطة C يكون أعلى من قيمة جهد المصدر .

ومن الممكن في بعض الدوائر بالتطبيقات العملية ، أن يصل جهد النقطة B ، لحظيا لقيمة تتعدى مائة ضعف جهد المصدر .

وكنتيجة لما سبق . تتولد « شرارة سنبلية » من جهد عابر عبر المفتاح S عند لحظة فتحه . ولقد أصبح شائعا الآن ، أن نبط اشباه الموصلات معرضه للتلف نتيجة الجهد الزائد . ومن المحتم أن تعدل الدائرة بطريقة ما ، في مثل هذا النوع من التطبيقات ، حتى يتسنى أما وقاية المفتاح الإلكتروني من أسوأ احتمالات لتأثير زيادة الجهد ، أو لمنع ظهور شرارة الجهد السنبلية تماما [انظر الفصل الثامن والفصل الخامس عشر] .

ويمكن حساب قيمة الـ . ق.د.ك المستحثة ذاتيا e من المعادلة الآتية :

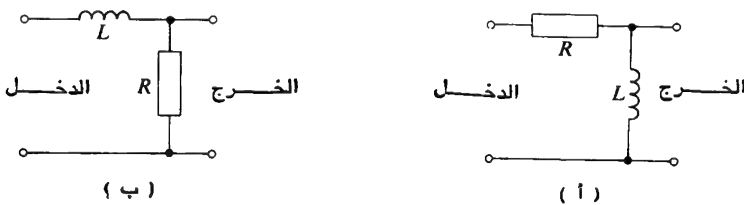
$$e = L \times \frac{di}{dt}$$

حيث di/dt هي طريقة مختصرة لقول « معدل تغير التيار بالنسبة للزمن » و L هي محاثة الملف بالهنري .

فإذا كان المفتاح الموضح في شكل { - { « مثاليا » فإنه يصبح قادرا من الوجهة النظرية على قطع تيار الدائرة في زمن قدره صفرا ، أي أن معدل هبوط التيار يصبح لانهايا فإذا ما طبقت هذه القيمة في المعادلة فإننا نرى أن قيمة الـ . ق.د.ك المعارضة بالملف ، في مثل هذه الدوائر ، تبلغ قيمة لا نهائية . ويؤدي هذا إلى تلف نبيلة شبه موصل مستعملة كمفتاح الكتروني . وبالتالي يصبح أمرا حيويا للغاية ، حماية أشباه الموصلات المستخدمة في مثل هذه الدوائر الفاصلة من هذه العواقب .

٤ - ٦ دوائر RL التفاضلية والتكاملية

يمكن استخدام دوائر الـ RL كمفاضل ومكامل للإشارات الكهربائية كما في حالة دوائر الـ RC . ويبين الشكل { - ٥ الأشكال الأساسية لدوائر الـ RL . ويقل استخدام دوائر الـ RL كثيرا في عمليات التفاضل والتكامل عن دوائر الـ RC لدواع كثيرة لعل أهمها غلو وكبر حجم ملفات



شكل ٤ - ٥ (أ) دائرة تفاضل مكونة من RL (ب) دائرة تكامل مكونة من RL

المحثة ويتحتم أن تكون قيمة الثابت الزمني (L/R) ، لدائرة التفاضل المبينة في شكل [٤ - ٥] ، أقل بكثير جدا من الزمن الدوري لإشارة الدخل ومن اللازم أيضا أن تكون قيمة الثابت الزمني ، لدائرة التكامل المبينة في شكل [٤ - ٥] - أكبر بكثير جدا من الزمن الدوري لإشارة الدخل .

٤ - ٧ ملفات المحثة في دوائر التيار المتردد

اقتصر في هذا الفصل على توضيح عمل المحثة في دوائر التيار المستمر وسيوضح عملها في دوائر التيار المتردد في الفصل السادس .

الفصل الخامس

الجهد المتردد والتيار المتردد

الجهد المتردد هو الجهد الذى تنعكس فيه قطبية طرفى المصدر بطريقة مستمرة بين الموجب والسالب . والشكل الموجى الجيبى أو المتردد هو ما نصادفه غالبا فى مجال الهندسة الكهربائية . ويسمى كذلك لأنه تتبع منحنى الجيب الرياضى عند رسم شكل موجة الجهد بالنسبة للزمن . وستكون الموجات الجيبية أساسا لمعظم المناقشة فى هذا الفصل والفصل الذى يليه .

ومن الجدير بالذكر أن كثيرا من الاشكال الموجية فى الدوائر الالكترونية لا تتخذ الشكل الجيبى . ومع ذلك فلا تزال معلوماتنا عن الموجات الجيبية ذات أهمية حيوية فى هذه الحالة لأنه يمكن اعتبار الموجات غير الجيبية ، كما سنرى فيما بعد ، مركبة من عدد كبير من الموجات الجيبية [هذه الطريقة تسمى تركيب الشكل الموجى] .

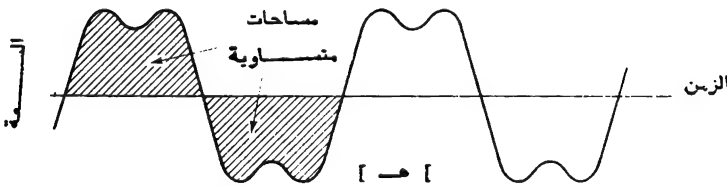
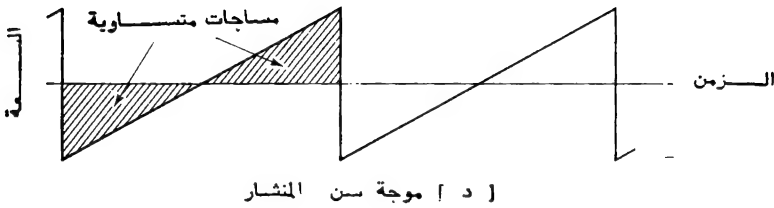
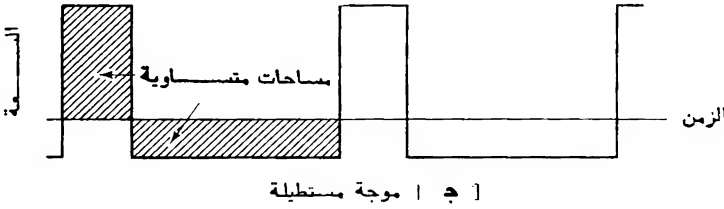
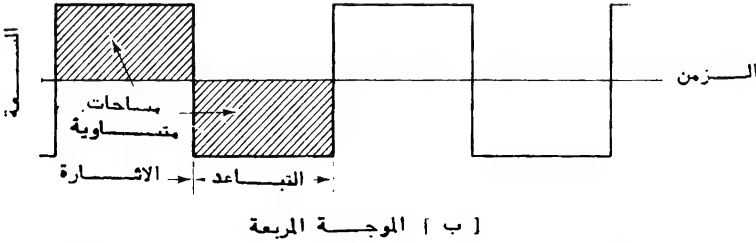
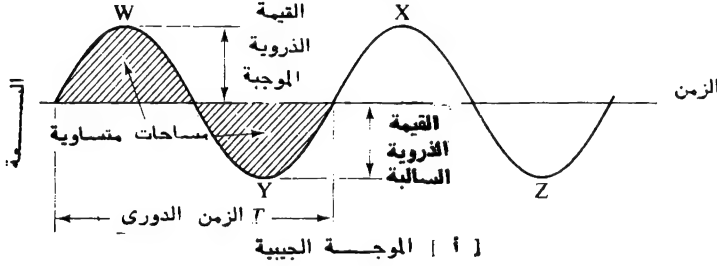
٥ - ١ الاشكال الموجية المترددة

يوضح شكل [٥ - ١] مجموعة مختارة من الاشكال الموجية المترددة المتداولة فى الدائرة الكترونية .

ولنلاحظ انه عندما يراد الإشارة الى الشكل الموجى المتردد فانه من المألوف أن يسمى بالشكل الموجى للتيار المتردد ، ولو أن ذلك ليس تعبيرا دقيقا . وفى هذا الكتاب فان تعبير جهد تيار متغير سوف يعنى جهدا مترددا، أما مصدر « تيار متردد » فانه يعنى مصدرا مترددا ... الخ .

وستوضح فيما يلى بعض الخصائص البارزة للاشكال الموجية التى يمثلها شكل [٥ - ١] . ومن اللازم أن نعرف أولا معنى شكل موجى متردد ، فهو الشكل الذى تساوى قيمه المتوسطة فى دورة كاملة للموجة صفرا . بمعنى أنه ، إذا ما عن لنا قياس جهد المصدر المتردد باستخدام d.c فولتميتر [القراءة المتوسطة] فان قراءته ستكون صفرا . وبالمثل إذا ما وصل d.c أميتر على التوالى مع حمل a.c فان قراءته تكون صفرا ايضا.

ويوضح شكله ٥ - ١ [١] شكلا موجيا أساسا ، وهو الموجة الجيبية ،
والذي يعتبر شكلا شائعاً من الأشكال الموجية لمولد التيار المتردد وكذا لخرج
بعض أنواع المذبذبات . ويتوازن الشكل الموجي حول خط الصفر وتتساوى
المساحة التي فوق خط الصفر خلال النصف الأول للدورة مع قيمة المساحة
التي تحت خط الصفر خلال نصف الدورة الثاني .



شكل ٥ - ١ بعض الأشكال الموجية المترددة المخطورة

وفى الحقيقة، فإن مساحات جميع الاشكال الموجية المترددة اسفل واعلى خط الصفر تتساوى كما هو موضح بالشكل .

ان الزمن الدورى أو فترة الذبذبة ، ورمزها T ، لشكل الموجة المترددة هو الزمن اللازم لاتمام دورة واحدة قابلة للتكرار . ويقاس الزمن الدورى للموجة بالثانية أو مضاعفات الثانية . وفى الشكل ٥ - ١ [ا] ، يبين الزمن الدورى على انه الفاصل الزمنى بين نقطتى الصفر على الشكل الموجى عندما يكون التزايد موجبا . ومن الممكن ايضا قياس الزمن الدورى بين النقطتين W و X او بين النقطتين Y و Z او بين اى نقطتين تحتويان على دورة كاملة من التغيرات .

وتردد الشكل الموجى المتردد ، ورمزه f ، هو عدد دورات الموجة المقطوعة كل ثانية . اما وحدة التردد فى النظام الدولى الاصطلاحي (SI) فهو الهرتز ورمزها Hz والعلاقة بينهما وبين الزمن الدورى هى

$$f = \frac{1}{T} \text{ Hz}$$

والموجة التى يبلغ زمنها الدورى 2 ميكرو ثانية ($2 \times 10^{-6} \text{ s}$) يكون لها تردد تبلغ قيمته

$$f = 1/(2 \times 10^{-6}) = 0.5 \times 10^6 \text{ Hz} = 500\,000 \text{ Hz} = 500 \text{ kHz}$$

وعند النهاية الاخرى لطيف التردد يتخذ تردد مصدر القدرة فى النظام البريطانى قيمة مقدارها 50 Hz بزمن دورى قيمته $1/50 \text{ s}$ و 20 ms . وفى امريكا يتخذ تردد مصدر القدرة قيمة مقدارها 60 Hz بزمن دورى قيمته 16.67 ms ويوضح شكل [٥ - ٢] الجزء الاكبر من طيف التردد المعروف ويستخدم فى الشكل مضاعفات التردد

$$1 \text{ kHz} = 1 \text{ kilohertz} = 1\,000 \text{ Hz}$$

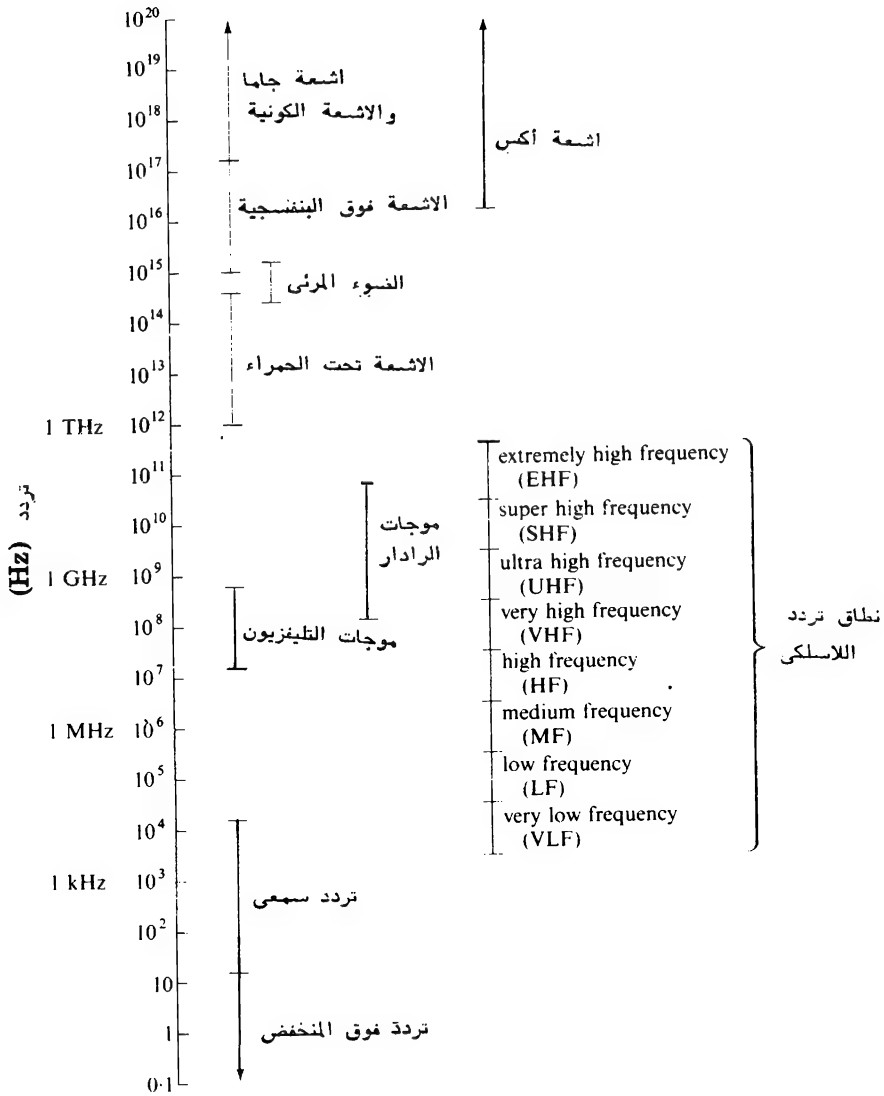
$$1 \text{ MHz} = 1 \text{ megahertz} = 1\,000\,000 \text{ Hz} = 1\,000 \text{ kHz}$$

$$1 \text{ GHz} = 1 \text{ gigahertz} = 1\,000\,000\,000 \text{ Hz} = 1\,000 \text{ MHz}$$

$$1 \text{ THz} = 1 \text{ terahertz} = 1\,000\,000\,000\,000 \text{ Hz} = 1\,000 \text{ GHz} \\ = 1\,000\,000 \text{ MHz}$$

ويبدأ مدى الترددات التى نقابلها عادة فى علم الالكترونيات عند حوالى 10 Hz فى اسفل نهاية نطاق التردد السمعى وتمتد حتى 10^{11} Hz بالتقريب (100 GHz or 100 000 MHz) . فى أعلى نهاية نطاق تردد الرادار . ويلزم تشغيل بعض انواع الاجهزة على درجة كبيرة من الدقة مثل ساعة اليد الالكترونية التى تعمل بمذبذب يبلغ تردده 32768 Hz

ويقع نطاق مابعد التردد المنخفض اسفل نطاق التردد السمعى . ونادر ما نواجه مثل هذه الترددات فى التطبيقات العملية التى قد تشمل اجهزة اختبار التردد فى نظم التحكم مثل نظم التحكم الكهروميكانيكية [آلية التحكم] القوى والتى تكون استجابتها فى غاية البطء .



شكل (٥ - ٢) قطاع في طيف التردد الكهرو مغناطيسى

وتكون القيمة الذرية لشكل الموجة المترددة هي أقصى قيمة يمكن الوصول إليها سواء كانت أعلى أو أسفل خط الصفر . وتوجد قيم ذرى متساوية خلال كل نصف دورة للأشكال الموجية [١] ، [ب] ، [د] ، [هـ] والموضحة في شكل ٥ - ١ . أما في حالة الموجة المستطيلة شكل ٥ - ١ [ج] فإن قيم الذرى الموجبة والسالبة لا تتساوى .

وفي بعض الحالات ، تستخدم قيمة ما بين الفروتين للشكل الموجي في الحسابات ، وهي تمثل الفرق بين القيمة الذرية الموجبة والقيمة الذرية

السالبة وهى ضعف القيمة الزنوية لكل من الاشكال الموجية [١] ، [ب] ، [د] ، [هـ] ، فى شكل [٥ - ١] .

وتعرف جميع الاشكال الموجية من [ب] الى [هـ] فى شكل [٥ - ١] بالاشكال الموجية غير الجيبية . للموجة المربعة التى فى شكل [ب] ، فان الفترة الزمنية للجهد الموجب تتساوى مع الفترة الزمنية للجهد السالب ، ونعرف هاتين الفترتين ، كل على حدة ، بفترة الإشارة وفترة التباعد للموجة . وتعرف النسبة الزمنية للفترتين بنسبة الإشارة الى المابعدة للموجة . وفى حالة الموجة المربعة بالشكل [ب] فان قيمة هذه النسبة تساوى واحداً اما بالنسبة للموجة المستطيلة بالشكل [ج] فان قيمة هذه النسبة هى 3 : 1

يوضح شكل ٥ - ١ [د] احد أنواع الموجات الاشريه [سن المنشار] وسميت كذلك بسبب شكلها . ويتواجد مثل هذا النوع من الموجات فى دوائر الانحراف النقطى الزمنى لمرسمة التذبذبات وفى دوائر تزامنية اخرى ويعتبر الشكل الموجى المبين فى شكل [٥ - ١] [هـ] نموذجاً شائعاً لموجة جيبية مشوهة .

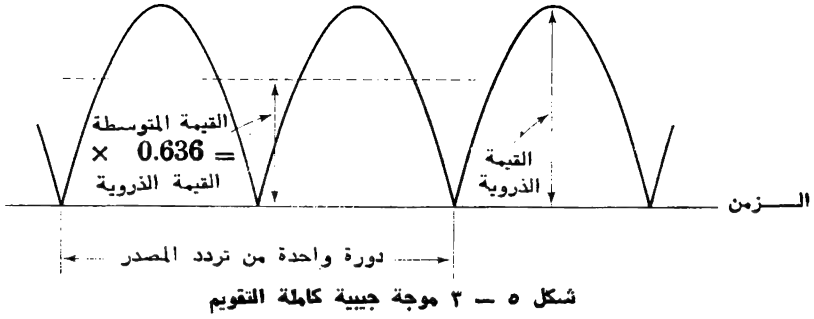
٥ - ٢ القيمة المتوسطة للموجة المترددة

كما ذكر سابقاً ، فانه بالنسبة للموجة المترددة الحقيقية تتساوى المساحة الموجية مع المساحة السالبة وتساوى المساحة الكلية تحت المنحنى صفراً [مع الاخذ فى الاعتبار الإشارة الرياضية لكل من المساحتين] . وبالتالي ، تكون القيمة الحقيقية للوسط الحسابى [او متوسط القيمة] للموجة المترددة مساوية للصفر .

وفى الهندسة الكهربائية والالكترونيات ، تكون القيمة المتوسطة هى المرجع المألوف للموجة المترددة . وفى هذه الحالة ، يرجع الى القيمة المتوسطة للموجة بعد أن تكون قد قومت بواسطة مقوم مثالى للموجة الكاملة . وسوف تناقش عملية التقويم تفصيلاً فى الفصل الثامن وسيعطى هنا مجرد وصف مبسط . ويتولى مقوم الموجة الكاملة وظيفة قلب انصاف الموجات السالبة بطريقة فعالة ، بحيث تبدو جميع انصاف الموجات فوق خط الصفر . ويوضح شكل [٥ - ٣] موجة جيبية كاملة التقويم ، وحيث أن كلا من نصفي الدورتين قد اتخذ الآن إشارة موجبة فانه يمكن بالتالى قياس او حساب القيمة المتوسطة للموجة وفى حالة الموجة الجيبية ، تكون القيمة المتوسطة هى

$$\text{القيمة المتوسطة} = 0.636 \times \text{القيمة الزنوية}$$

وتكون القيمة المتوسطة لتيار جيبى متردد ذو ذروة قيمتها 10 mA ، هى 6.36 mA . وينبغى ادراك أن الرقم 0.636 يتعلق بالموجة الجيبية فقط وليس بالموجات الأخرى غير الجيبية .



فمثلا تتساوى القيمة المتوسطة للموجة المربعة [شكل ٥ - ١] ب []
مع القيمة الذروية للموجة .

٥ - ٣ قيمة جذر متوسط المربعات « ج . م . م » أو القيمة الفعالة للموجة المترددة

قيمة ج . م . م للموجة المترددة هي قيمتها الفعالة أى انها هي القيمة التى تحدث نفس كمية الحرارة التى يحدثها التيار المستمر اذا مر فى نفس المقاومة . فعلى حالة الموجة الجيبية .

$$\text{قيمة ج . م . م} = 0.707 \times \text{القيمة الذروية}$$

فبالنسبة لمصدر جهد 240 V ج . م . م فان

$$\text{القيمة الذروية} = \frac{\text{قيمة ج . م . م}}{0.707} = \frac{240}{0.707} = 339.5 \text{ فولت}$$

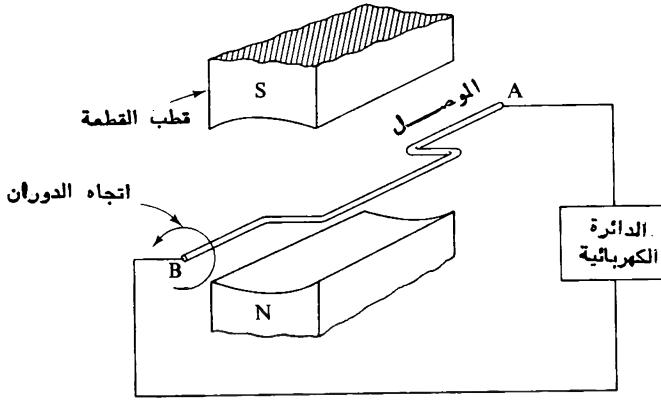
ويطبق المعامل 0.707 المعطى اعلاه فى حالة الموجة الجيبية فقط ، وليس للموجات الاخرى . فمثلا تتساوى قيمة ج . م . م للموجة المربعة مع قيمتها الذروية .

٥ - ٤ بيان علاقة الطور

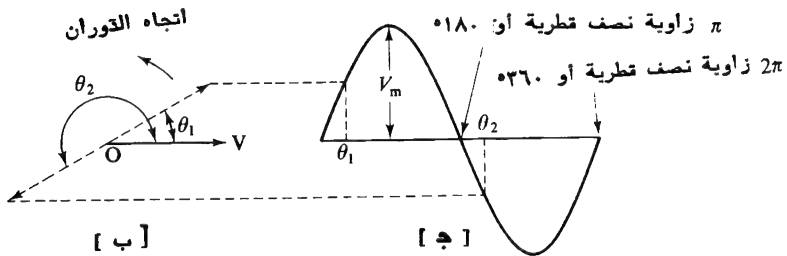
لنأخذ تحت الاعتبار مولدا للجهد المتردد ذا سلك واحد كما هو موضح بالشكل ٥ - ٤ [١] اذ يدور السلك ، ذى المركز عند مركز المغناطيس الدائم ، بسرعة ثابتة . فعندما يكون السلك فى الوضع الاقرب للقطب الشمالى S من المغناطيس ، فان الجهد المستحث به يتخذ اتجاها بحيث

يؤدى الى سريان التيار خارجا من الطرف A للسلك . إما اذا كان السلك فى الوضع الاقرب للقطب الجنوبي A ، فان التيار يسرى خارجا من الطرف B فى هذه الحالة . وهكذا تتناوب قطبية الطرف N للسلك اتخاذا إشارة موجية ثم اخرى سالبة عند دوران السلك فى المجال المغناطيسى .

والان ، لنفترض ان OV فى شكل ه - ب [ب] يمثل بمقياس رسم مناسب اقصى قيمة V_m من الجهد المتردد والمستحث فى هذا السلك . ولنفترض ايضا ان OV [يعرف بمبين الطور] يدور بسرعة ثابتة ضد اتجاه عقرب الساعة . فاذا ما رصدت المساقط العمودية لطرف مبين الطور خلال دورانه ، نستطيع ان نتحصل على موجة جيبية شكل ه - ب [ج] . وتتزامن نقطة البداية للموجة مع اللحظة التى يتخذ فيها مبين الطور وضعافاقيا ، أى عندما تكون زاوية الدوران مساوية للصفر . فبعد ما يدور مبين الطور زاوية مقدارها θ_1 يكون جهد الطرف A للسلك فى أى جهد من الطرف B . وبعد جزء من الوقت ، يكون مبين الطور قد دار خلال زاوية θ_2 مقاسة من نقطة البداية ، ويصبح جهد الطرف A للسلك سالبا بالنسبة للطرف B ، وبعد دورة كاملة يكون طرف مبين الطور قد رسم موجة جيبية كاملة .



[١]



شكل ه - ب [١] مولد يتردد ذو سلك واحد [ب] تمثيل الجهود المتولدة بواسطة مبين الطور [ج] جهد الموجة الجيبية .

وحيث ان الدورة كاملة لمبين الطور تستغرق 360° ميكانيكية فانه ، نظرا لوجود زوج واحد فقط من الاقطاب ، تتساوى الدرجات الكهربائية للموجة المترددة مع الدرجات الميكانيكية وتصبح 360° كهربائية ايضا . وغنى عن البيان : أن عدد الدرجات الميكانيكية طبقا لمضاعفات عدد ازواج الاقطاب الموجودة . وتقاس زاوية الدوران ، كطريقة بديلة فى بعض الاحيان بعدد الزاوية النصف قطرية فيما يسمى بالتقدير الدائرى . ويوضح شكل ه - ه فكرة القياس بالزاويا النصف قطرية .

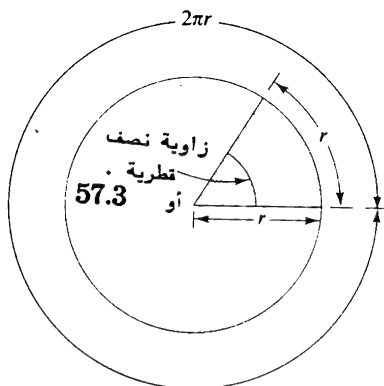
فالزاوية النصف قطرية هى الزاوية المركزية التى يتساوى طول قوسها المحصور بين ضلعيها مع نصف قطر الدائرة المرسومة فيها هذه الزاوية ، وقيمة الزاوية النصف قطرية تساوى 57.3° بالتقدير الستينى . ويوجد هناك 2π (6.284) زاوية نصف قطرية بالدائرة او فى دورة كاملة . لذا فان

180° تكافئ π زاوية نصف قطرية

360° تكافئ 2π زاوية نصف قطرية

ويتساوى الزمن الذى يستغرقه السلك فى شكل ه - ه [ا] ليدور دورة كاملة مع الزمن الدورى T للموجة المترددة ، لذا فان سرعة دوران السلك w مقدره بعدد الزوايا النصف قطرية لكل ثانية تكون

$$w = \frac{2\pi \text{ زاوية نصف قطرية}}{\text{الزمن الذى تستغرقه دورة كاملة}} = \frac{2\pi}{T} \text{ rad/s}$$



شكل ه - ه الزاوية النصف القطرية

لقد وضع سابقا أن تردد الموجة يساوى $1/T$ ان

$$\omega = 2\pi f \text{ rad/s}$$

حيث f هي التردد مقدرا بالهرتز . وتعرف الكمية w احيانا بالتردد الزاوى للموجة وتعطى السرعة الزاوية للشكل الموجى ذى تردد يساوى 50 Hz بالقيمة التالية :

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \times 50 = 100\pi = 314.2 \text{ rad/s}$$

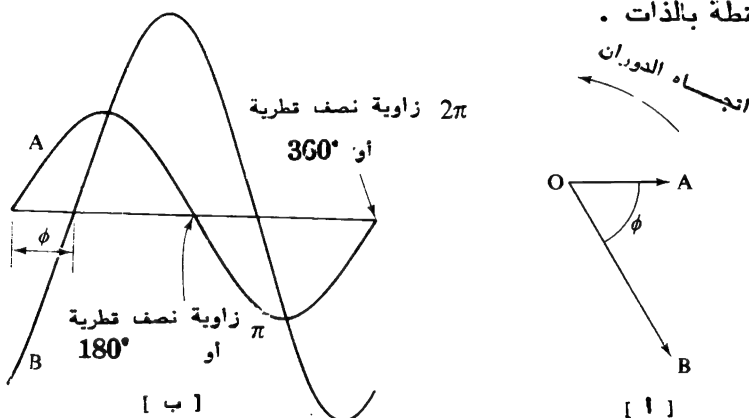
لقد وجد ان فكرة التردد الزاوى ذات فائدة خاصة عند التعامل مع دوائر التيار المتردد .

٥ - ٥ اختلاف زاوية الطور

نتعامل فى كثير من الدوائر الالكترونية مع موجات جيبية للجهد والتيار حيث تختلف زاوية الطور بينهم . ويوضح شكل [٥ - ٦] مثالا على ذلك . فمن الممكن توليد مابينين للطور فى حركة دائرية كما هو موضح بالرسم (a) من الشكل المذكور بواسطة سلكين منفصلين داخل المولد الكهربائى ولكن يبعد كل منهما عن الآخر بزاوية ϕ | تنطق فاى | .

فعند لحظة الزمن تحت الاعتبار فى الرسم | ١ | يتخذ مابين الطور OA وضعافقيا ، وتكون القيمة اللحظية عند اسقاط الموجة الجيبية | الرسم [ب] | مساوية للصفر . ويتخذ مابين الطور OB فى نفس اللحظة ، الوضع الاسفل بحيث تتخذ قيمته المسقط على الشكل الموجى فى [ب] اشارة سالبة . عند دوران مابينى الطور ضد اتجاه عقارب الساعة تصبح قيمة الشكل الموجى A موجبة بينما تقل القيمة السالبة للشكل الموجى B حتى تصبح القيمة اللحظية للمنحنى B مساوية للصفر وذلك بعد زاوية من الدوران مقدارها ϕ .

وتستخدم طريقة مبسطة فى الهندسة الكهربائية لشرح الاوضاع النسبية لمبينات الطور المختلفة من خلال بيان العلاقة الموضح فى شكل [٥ - ٦] . كالآتى . فمع اتخاذ اتجاه دوران مابينات الطور طبقا للاصطلاح المعمول به [ضد اتجاه عقارب الساعة] ينبغى ملاحظة ترتيب مرور مابينات الطور عند نقطة بالذات .



شكل ٥ - ٦ رسم يوضح ان ضابط الطور B يتاخر من ضوابط الطور A بزاوية ϕ او بمعنى آخر بيان علامة الطور B متقدم عن بيان علاقة الطور A .

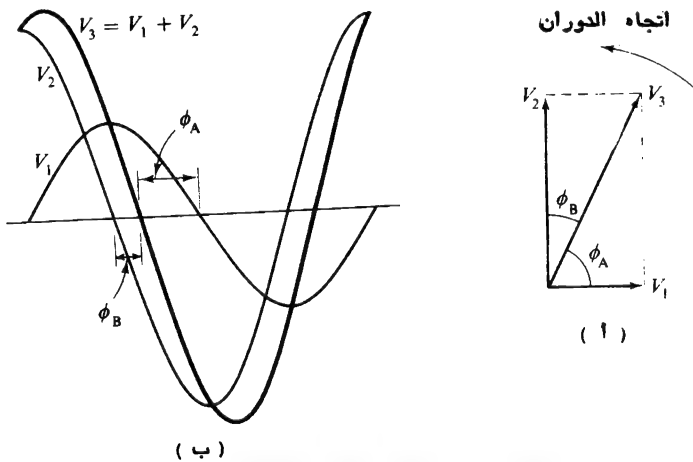
والسهولة ، تأخذ هذه النقطة عادة فوق الخط الافقى على يمين مركزا دوران مبينات الطور . وفى الشكل ، نستطيع ان نرى مبين الطور OA مارا خلال هذا الخط الافقى قبل ان يمر به مبين الطور OB . لذا يقال ان مبين الطور OA يتقدم عن مبين الطور OB بالزاوية ϕ . وبكيفية اخرى ، يقال ان مبين الطور OB ينخلف عن مبين الطور OA بالزاوية ϕ . وكثيرا ما يرجع الى الزاوية ϕ على انها « الاختلاف الطورى » او « زاوية الطور » بين مبينى الطور .

وحيث ان دورة الموجة المترددة تتم خلال فترة زمنية ثابتة [الزمن الدورى] فان زاوية دوران مقدارها 360° كهربائية تكافئ فترة زمنية تساوى الزمن الدورى . فاذا كان تردد الموجة يساوى 50 Hz ، فان زمنا دوريا قدره $1/50 \text{ s}$ او 20 ms يكافئ دوران مبين الطور خلال زاوية مقدارها 360° . اذا كانت زاوية الطور ϕ بالنسبة لشكل ٥ - ٦ تساوى 60° ، فان «الاختلاف الطورى» عند تردد للمصدر يساوى 50 Hz ، يناظر فارقا زمنيا بين مبينى الطور مقداره $20 \times 60/360 = 3.33 \text{ ms}$. اما عند تردد مقداره 500 Hz | أى ان الزمن الدورى $= 2 \text{ ms}$ | فان زاوية للطور مقدارها 60° تناظر فارقا زمنيا مقداره 0.333 ms .

٥ - ٦ جمع الموجات الجيبية

يبين شكل ٥ - ٧ | طريقة جمع مبينى الطور V_1 و V_2 . فطبقا للطريقة الموضحة عاليه ينضح ان مبين الطور V_2 يتقدم عن مبين الطور V_1 بزاوية مقدارها 90° . ويوضح الرسم | أ | عملية جمع مبينى الطور V_1 ، V_2 بطريقة الرسم بأكمال متوازى الاضلاع للحصول على المحصلة V_3 . ويدور مبين الطور V_3 بنفس سرعة V_1 و V_2 ويرسم الاسقاط العمودى لطرفه موجه جيبية كما فى شكل ٥ - ٧ | ب | .

وفى هذه الحالة تحت الاعتبار ، يتقدم مبين الطور V_3 عن V_1 بزاوية مقدارها ϕ_A ويتخلف عن V_2 بزاوية مقدارها ϕ_B . ويتضح من شكل ٥ - ٧ | ب | ان الزمن الدورى والتردد لكل من V_1 و V_2 و V_3 متماثل .



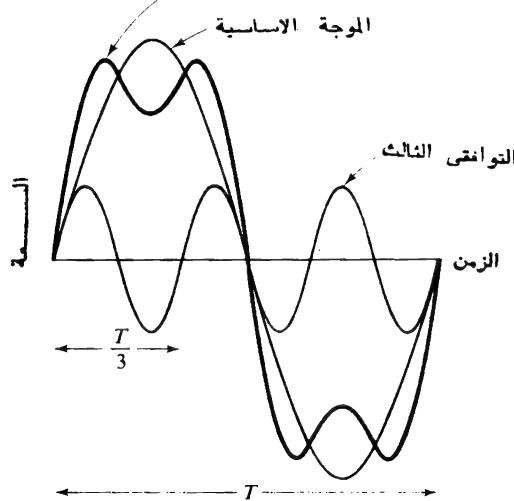
شكل ٥ - ٧ جمع الموجات الجيبية

يمكن اعتبار الاشكال الموجية المترددة غير الجيبية مثل الموجة المستطيلة وموجة اسنان المنشار الموضحين فى شكل [٥ - ١] وكأنها مركبة من مجموع عدة موجات جيبية . ولهذه الموجات الجيبية ، مضاعفات شاملة ، [بأرقام صحيحة] للتردد الاساسى [التردد الرئيسى] . وتعرف هذه الترددات الاعلى ، والتي تشارك فى تركيب الشكل الموجى النهائى بالترددات التوافقية او بالتوافقيات للسهولة . ويتخذ التردد التوافقى الثانى قيمة تعادل ضعف التردد الرئيسى بينما يتخذ التردد التوافقى الثالث قيمة تعادل ثلاثة اضعاف التردد الرئيسى . الخ . فاذا كانت قيمة التردد الرئيسى تعادل 1 KHz ، فان قيمة التردد التوافقى الثانى تعادل 2 KHz ، ويعادل التردد التوافقى الثالث ما قيمته 3 KHz بينما تصبح قيمة التردد التوافقى الخامس عشر معادلة لـ 15 K Hz . الخ .

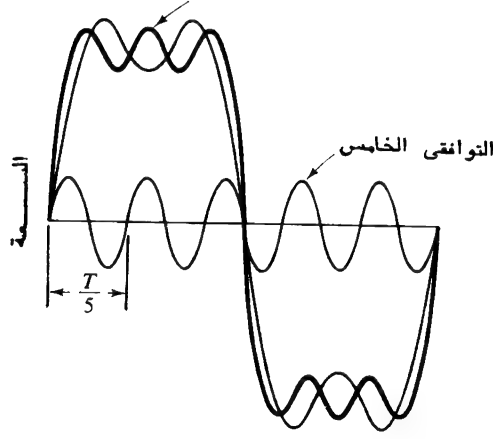
وتسمى عملية تركيب موجة مركبة وغير جيبية من التردد الاساسى وعدد من التوافقيات بالتركيب الموجى ، ويمكن توضيحها فى حالة الموجة المربعة المبينة بشكل ٥ - ٨ . وتتخذ الخطوة الاولى لتركيب الموجة باضافة التردد الرئيسى ذى الزمن الدورى T على التردد التوافقى الثالث ذى الزمن الدورى T/3 . فبعد نهاية جمع الموجتين كل منهما للآخرى ، تبدو الموجة المحصلة كما فى شكل ٥ - ٨ | أ | وقد ظهر تتابع موجى صغير عند كل ذروة الموجة منها والسالبة . وتبلغ ذروة الموجة التوافقية الثالثة ثلث ذروة الموجة الرئيسية .

فاذا اضفنا الان الموجة التوافقية الخامسة ، والتي تبلغ ذروتها خمس ذروة الموجة الرئيسية ، الى الموجة المركبة التى حصلنا عليها فى الرسم [أ] فاننا نحصل على الموجة الموضحة فى شكل ٥ - ٨ | ب | . ومن الممكن ان نرى كيف يؤدى تجميع الموجات التوافقية الثالثة والخامسة مع الموجة الرئيسية لبدء اتخاذ شكل الموجة المربعة . فاذا ما استطردها فى تجميع التوافقيات السابعة والتاسعة والحادية عشرة وجميع الترددات التوافقية الفردية التالية ، والتي تتصاغر قيمتها الواحدة تلو الاخرى .

موجة مركبة = الموجة الاساسية + التوافقى الثالث



الموجة الاساسية + التوافقى الثالث + التوافقى الخامس



(ب)

شكل ٥ - ٨ خطوات التركيب الموجى

فان ذلك يؤدى الى أن يقترب الشكل الموجى أكثر وأكثر لاتخاذ شكل الموجة المربعة . ومن الوجهة النظرية ، فلا بد من اضافة عدد لانهاى من الترددات التوافقية لى يتم تركيب موجة مربعة خالصة .

وتقوم غالبية الاجهزة الموسيقية الالكترونية بتركيب الاصوات الموسيقية بطريقة مشابهة لما وضح عاليه . ويتم تجميع تشكيلة واسعة من الاشكال الموجية ، والتي لا يتحتم أن تكون جيبيه بالضرورة ، حتى يتسنى الوصول الى تركيبات لاشكال موجية اخرى أكثر شمولاً .

ويعطى كثير من المعدات الالكترونية اشكالا للتيار غير جيبيه الموجة وبالتالي فانها تمرر كمية كبيرة من الترددات التوافقية العالية بالتيار . ويعتبر المصباح الفلورى مثالا لواحد من أنواع مولدات التيار بالترددات التوافقية حيث يقوم بتوليد كمية كبيرة من الاشارات الالكترونية ذات التردد العالي . فاذا لم تتخذ الاحتياطات لكبت هذه التوافقيات ، فمن الممكن أن تؤدى الى تداخل مع مستقبل المذياع وجهاز التلفزيون . وقد تؤدى نبائط المفاتيح الالكترونية مثل الثايرستور الى تحميل مصدر الجهد بتيارات ذات ترددات عالية مما قد يؤدى الى مشاكل تداخلات مع الاجهزة الالكترونية القريبة .

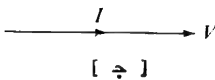
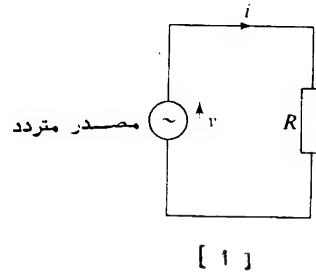
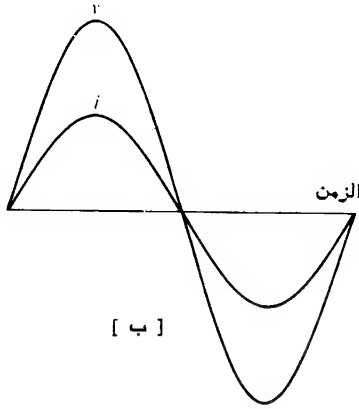
وتسمى عملية تحويل الموجة المركبة ، الموجة المربعة على سبيل المثال ، الى عناصرها التوافقية المكونة باسم التحليل الموجى ، وتتم هذه العملية بواسطة معدات تستخدم مرشحات ذات حساسية للترددات .

الفصل السادس

دوائر التيار المتردد

٦ - ١ المقاومة فى دائرة التيار المتردد

عند تسليط جهد متردد بين طرفى مقاومة كما فى شكل ٦ - ١ [أ] فان التيار المار فى الدائرة يتناسب دائما مع الجهد . بالتالى : يتماثل الشكل الموجى لكل من التيار والجهد من جهة الشكل والطور | انظر شكل ٦ - ١ [ب] .



شكل ٦ - ١ الشكل الموجى لدائرة ترددية (a.c) تحتوى على مقاوم نقى .

حيث أن كلا من الجهد والتيار لهما نفس الطور فان التماثل الاتجاهى لهما يكون كما فى شكل ٦ - ١ [ج] حيث تمثل الكميات I و V الجذر التربيعى للقيمة المتوسطة لمربع كل كمية لـ (r.m.s) او القيمة الفعالة للتيار والجهد على الترتيب . ويطبق قانون اوم على هذه الدائرة كالآتى :

$$V = IR$$

حيث V و I هى الجذر التربيعى للقيمة المتوسطة لمربع كل من الفولت والتيار .

إذا وصل بين طرفى مقاومة مقدارها 10Ω جهد قيمته 20 m V r.m.s فان القيمة الفعالة للتيار المار فى الدائرة تكون

$$I = \frac{20 \times 10^{-3}}{10} = 2 \times 10^{-3} \text{ A} = 2 \text{ mA}$$

وتكون قيمة القدرة المستهلكة

$$P = VI = 20 \times 10^{-3} \times 2 \times 10^{-3} = 40 \times 10^{-6} \text{ W} = 40 \mu\text{W}$$

٦ - ٢ الحثية فى دائرة التيار المتردد

عند توصيل محث نقى بمصدر متردد فان التيار المنساب المار فى الدائرة يتخلف عن الجهد المسلط بزاوية مقدارها 90° وينتج هذا من القوة الدافعة الكهربائية [ق.د.ك] العكسية والمستحثة فى الملف عندما يتغير التيار المار فى الملف كما سنوضح فيما يلى :

ذكر فى الفصل الرابع ان الـ ق.د.ك المستحثة ذاتيا فى الملف e هى

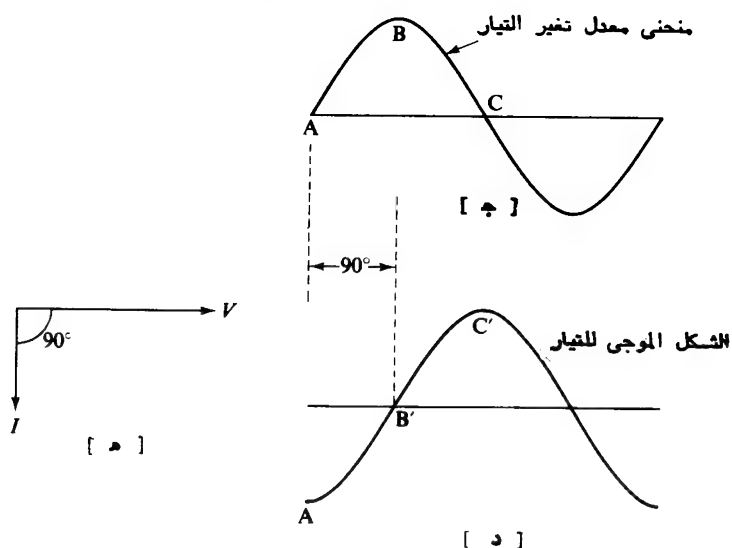
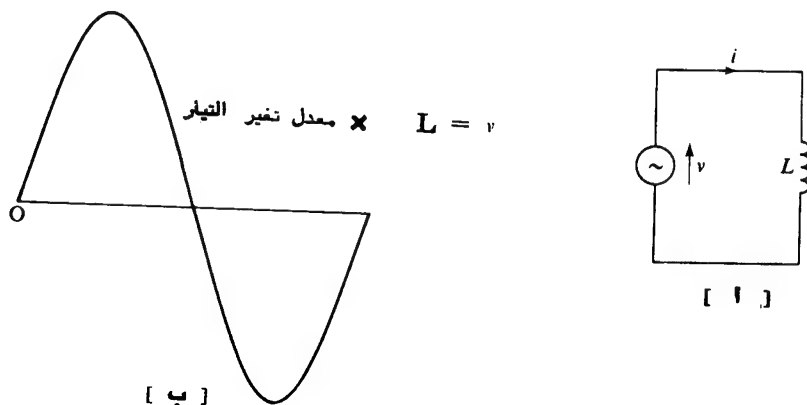
$$e = L \times \text{معدل تغير التيار}$$

فى الدائرة المحتوية على محثية بحتة فقط ، تكون القيمة اللحظية للـ ق.د.ك العكسية فى الملف هى فرق الجهد الوحيد فى الدائرة ويساوى القيمة اللحظية للجهد المسلط . اذن

$$V = L \times \text{معدل تغير التيار}$$

يبين شكل ٦ - ٢ [ب] الشكل الموجى للجهد V حينما يكون مصدر الجهد جيبيا وببساطة ، حيث ان الـ عبارة عن قيمة عددية فاته من المعادلة السابقة يكون للمنحنى الذى يمثل معدل تغير التيار نفس زاوية وجه الجهد V كما هو مبين فى شكل ٦ - ٢ [ج] . لكى نحصل على الشكل الموجى للتيار . نتابع نقطة بنقطة من المنحنى C . عند النقطة A على المنحنى (C) ، قيمة معدل تغير التيار تساوى صفرا ولكن على يمين النقطة A مباشرة تكون لها قيمة موجبة وهذا معناه ان ميل منحنى التيار ، المنحنى (d) يكون صفرا عند A ولكنه يصبح موجبا على يمين A [أى ان الميل الى أعلى من الشمال الى اليمين] . وعند التحرك للنقطة B على المنحنى (C) تتخذ قيمة معدل تغير التيار عند هذه اللحظة قيمتها العظمى . وهذا يملئ ان ميل منحنى التيار [المنحنى d] يكون موجبا واكبر ما يمكن عند اللحظة

B . وتكون قيمة معدل تغير التيار بين النقطتين (B) ، (C) موجبة ولكن قيمتها تتناقص بالتالى يصبح ميل منحنى التيار بين النقاط المناظرة اقل حدة تدريجيا ، حتى عند النقطة C يصبح ميل المنحنى يساوى صفرا . وهذا يعنى أن المنحنى يصل عند قيمته الذروى لحظيا . وتصبح قيمة معدل تغير التيار ، على يمين النقطة مباشرة ، سالبة على المنحنى (C) ، وهذا يعلى أن ميل منحنى التيار اصبح سالبا . وهكذا تكون ميول منحنى التيار من اليمين الى الشمال حتى يتلاشى فى القيمة مع الزمن .



شكل ٦ - ٢ مهانة بعثة ضمن دائرة تيار متردد

باستمرار المناقشة على الجزء الباقي من المنحنى (C) نحصل على الشكل الموجى لمنحنى التيار (d) الذى هو عبارة عن منحنى جيبي متخلف

عن المنحنى (b) بزاوية قدرها 90° . ويوضح شكل ٦ - ٢ [هـ] العلاقة بين الجهد والتيار والمناظر لهذه الدائرة .

ملخص . فى دائرة التيار المتردد المحتوية على محاثه بحتة فقط يتخلف التيار عن الضغط المسلط بزاوية مقدارها 90° .

ايضا تحدد الـ . ق.د.ك المستحثة فى الملف من قيمة التيار المنساب فى الدائرة . وحتى اذا كانت قيمة مقاومة الملف تساوى صفرا فان قيمة الـ . ق.د.ك المستحثة فى الملف تحدد ايضا من قيمة التيار .

وهذا التأثير الحدى فى دائرة تحتوى على محاثه بحتة يعرف بمفاعلة الحث ويرمز لها بالرمز X_L ، حيث

$$X_L = \frac{V}{I} = 2\pi fL = \omega L \quad \Omega \quad [L \text{ بالهنرى}]$$

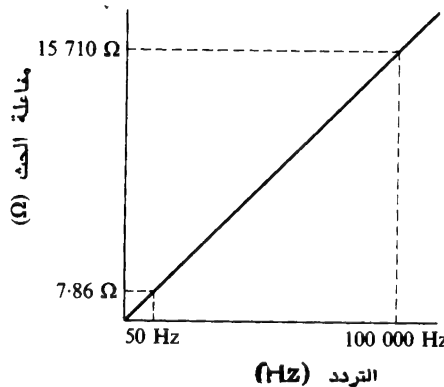
مفاعلة ملف ذى محاثه مقدارها 25 mH عند تردد 50 Hz

$$X_L = 2\pi \times 50 \times 25 \times 10^{-3} = 7860 \times 10^{-3} = 7.86 \Omega$$

وعند تردد 100 KHz تكون مفاعلة الحث مقدارها

$$X_L = 2\pi \times 100 \times 10^3 \times 25 \times 10^{-3} = 15710 \Omega$$

واضح من الحسابات السابقة ان مفاعلة الحث تزداد مع التردد . يبين شكل ٦ - ٣ [ا] كيفية تغير مفاعلة الملف مع التردد . وكنتيجه لذلك فانه عند توصيل محاثه بقيمة معينة ضمن دائرة فان التيار الذى يسمح بمروره فى الدائرة عند التردد المنخفض يكون اكبر من التيار الذى يسمح بمروره عند التردد العالى .



شكل ٦ - ٣ رسم يبين تغير مفاعلة الحث لمحاثه مقدارها 25 mH مع التردد

٦-٣ المكثف فى دائرة التيار المتردد

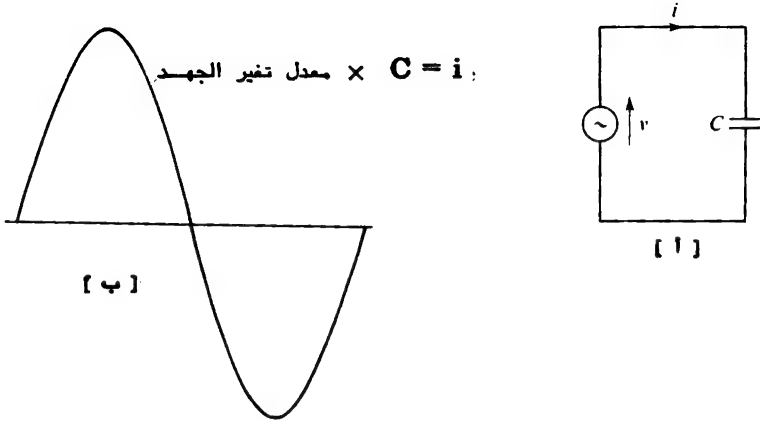
عند توصيل مكثف بمصدر جيبي متردد كما فى شكل ٦ - ٤ [١] فاننا نجد ان التيار المار فى الدائرة يكون متقدما عن الجهد بزاوية مقدارها 90° .

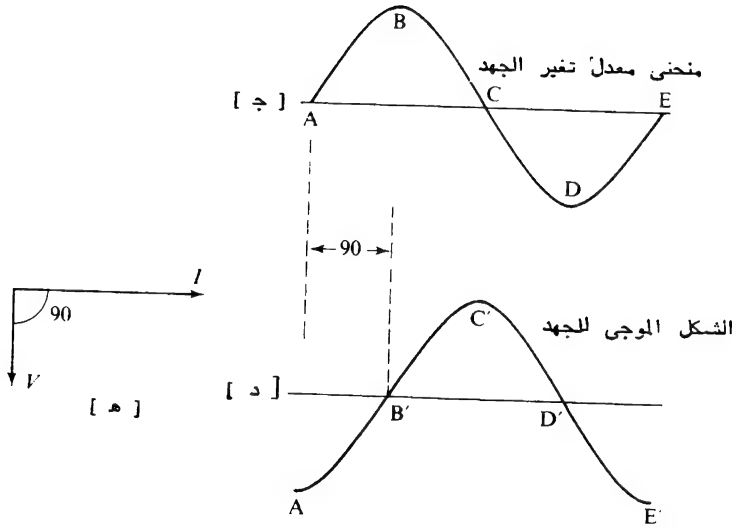
وكما سبق فى الفصل الثالث ، تعطى القيمة اللحظية للتيار المار فى المكثف بالمعادلة .

$$i = C \times \text{معدل تغير الجهد بين طرفى المكثف}$$

حيث C فى المعادلة السابقة عبارة عن مجرد قيمة عددية ، وبالتالى فان الشكل الموجي للتيار [المنحنى B] ومعدل تغير الجهد [المنحنى C] يتماثلان .

يمكن استنتاج الشكل الموجي للجهد بين طرفى المكثف باستخدام تقنية مماثل للذى استخدم فى حالة المحاثه . عند اللحظة A فى شكل ٦ - ٤ [ج] يساوى معدل تغير الفولت بين طرفى المكثف صفرًا ويكون موجبا بين النقطتين A و C .





شكل ٦ - ٤ مكثف في دائرة تيار متردد

بالتالي فان ميل منحنى الفولت عن اللحظة A يكون صفرا ويصبح موجبا بين النقطتين A و C أى ان ميل منحنى الجهد تكون متزايدة على يمين النقطة A وتصل للصفر عند النقطة B ويكون ميل منحنى الفولت سالبا بين النقطتين C و B أى ان الميل يتناقص بعد النقطة C ويكون صفرا عند النقطة D .

بمقارنة الاشكال الموجية لكل من التيار [ب] والفولت [د] . نجد انه في دوائر التيار المتردد المحتوية على مكثف : يتقدم التيار المار في المكثف عن الجهد بين طرفيه بزاوية مقدارها 90° . ويوضح شكل ٦ - ٤ [هـ] بيان العلاقة بين كل من التيار والجهد والمناظر لهذه الدائرة .

وتحدد قيمة التيار المار خلال المكثف بخاصية المكثف المعروفة بمفاعلة المكثف السعوية ويرمز لها بالرمز X_C حيث

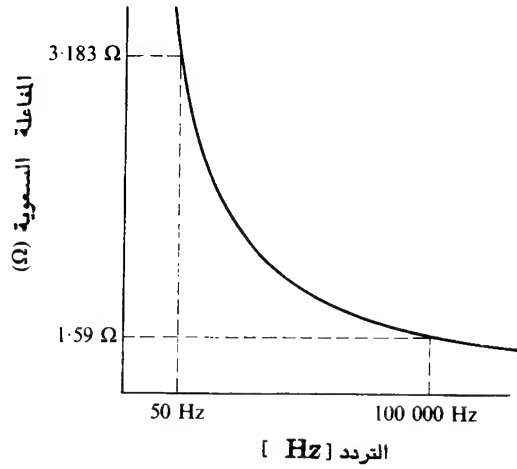
$$X_C = \frac{V}{I} = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{\omega C} \quad \Omega (C \text{ in farads})$$

قيمة المفاعلة السعوية لمكثف سعته $1 \mu F$ عند تردد قدره 50 Hz هي

$$X_C = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 1 \times 10^{-6}} = 3183 \Omega$$

وقيمة المفاعلة السعوية عند تردد قدره 100 KHz هي

$$X_C = \frac{1}{2\pi \times 100 \times 10^3 \times 1 \times 10^{-6}} = 1.59 \Omega$$

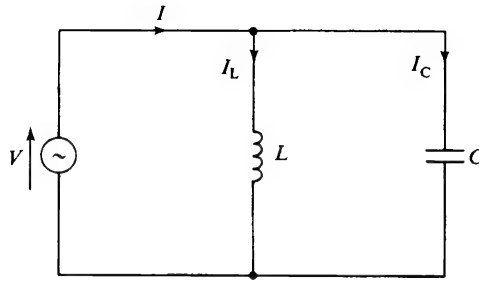


شكل ٦ - ٥ رسم يبين تغير مفاعلة السعة لكثف سعته $1 \mu F$ مع التردد .

واضح أن المفاعلة السعوية تتناقص كلما ازداد التردد . يبين شكل ٦ - ٥ كيفية تغير مفاعلة المكثف مع التردد . وبالتالي فإن قيمة التيار المسحوب بالمكثف عند التردد المنخفض تكون أقل من قيمته عند التردد المرتفع .

٦ - ٤ دوائر التوازي المكونة من LC

تستخدم دائرة التوازي المبينة في شكل ٦ - ٦ المكونة من LC بكثرة في النظم الإلكترونية . في هذه الدائرة التيار الكلي المسحوب من المصدر I



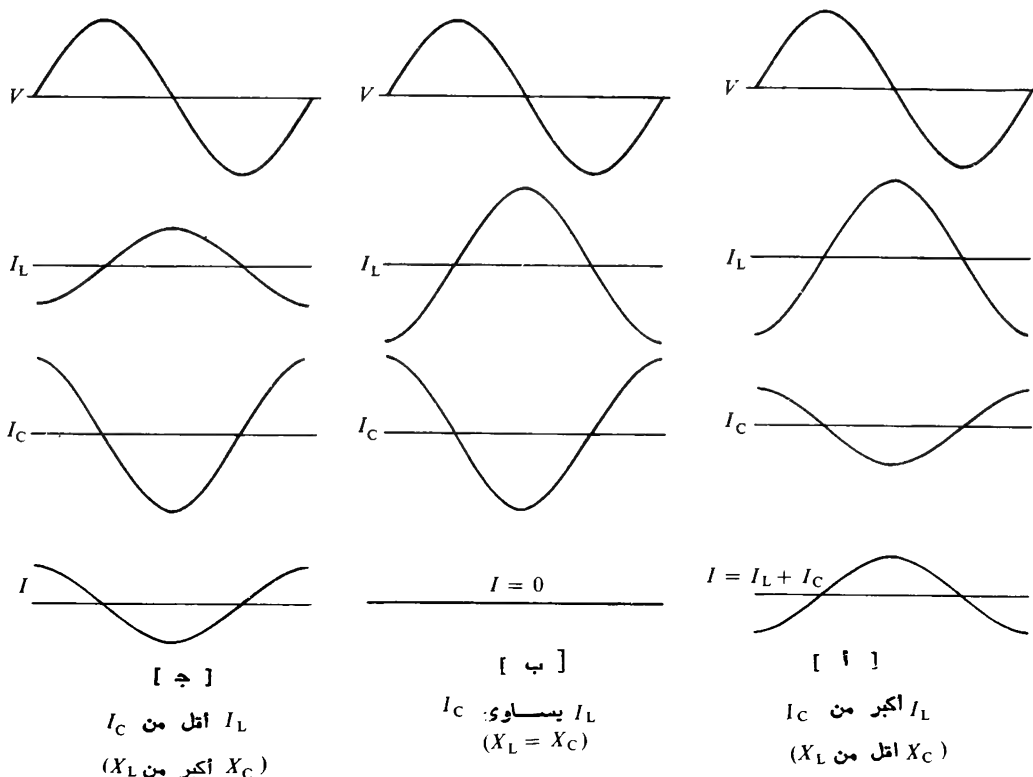
شكل ٦ - ٦ دائرة توازي مكونة من LC

يساوي مجموعي التيارين الفرعيين I_L و I_C . يوجد ثلاث حالات لطرق تشغيل هذه الدائرة هي :

[أ]	I_L	أكبر من	I_C
[ب]	I_L	نساوي	I_C
[ج]	I_L	أقل من	I_C

[رنين توازي]

الاشكال الموجية لهذه الحالات الثلاث مبينة بشكل [٦ - ١] [١] و [ب]
و [ج] على الترتيب . والان ، سناخذ فى الاعتبار كل دائرة على حدة .



شكل ٦ - ٧ الاشكال الموجية لدائرة التوازي عند قيم مختلفة لكل من X_C و X_L

I_C أكبر من I_L شكل [٦ - ٧] [١] فى هذه الحالة ، تكون قيمة مفاعلة الحث X_L أقل من مفاعلة المكثف X_C كما وضع فى الأجزاء السابقة ، يتخلف التيار I_L المار خلال الملف عن الجهد المسلط طرفيه بزاوية مقدارها 90° . بينما يتقدم التيار I_C المار خلال المكثف عن الجهد المسلط بين طرفيه بزاوية مقدارها 90° . بالتالى تضاد الاشكال الموجية لكل من I_L و I_C بعضها البعض [اختلاف الطور 180°] . ويساوى التيار I المسحوب بدائرة التوازي مجموع التيارين I_L و I_C وبالتالى نستطيع الحصول على الشكل الموجى للتيار I بجمع موجتى التيارين I_L و I_C عند زاوية طور مقدارها 0° ، فان قيمة التيار I_L تكون سالبة وكبيرة وقيمة التيار I_C تكون صغيرة وموجبة وبالتالى قيمة التيار I تكون سالبة وأقل من I_L . عند زاوية مقدارها 90° تكون قيم كل من I_C و I_L صفرا وبالتالى تكون قيمة I صفرا . عند 180° ، تكون قيمة التيار I_L كبيرة وموجبة وتكون قيمة التيار I_C صغيرة وسالبة ونتيجة لذلك تكون

قيمة التيار I كبيرة وموجبة ولكن اقل من I_L . بمقارنة الشكل الموجى للتيار I بالشكل الموجى للتيار I_L نجد أن لكليهما نفس زاوية الوجه [الطور] وكلاهما متأخر عن جهد المصدر بزاوية قدرها 90° . ومن الواضح أن التيار المسحوب بالدائرة تحت هذه الظروف يتخلف عن جهد المصدر بزاوية قدرها 90° وتبدو دائرة التوازي للمصدر وكأنها ملف محاث .

I_L تساوى I_C شكل ٦ - ٧ [ب] . عندما تكون قيم I_C و I_L متساوية فإن الاشكال الموجية تلغى بعضها البعض ولا يبد المصدر أى تيار للدائرة . ومن اول وهلة ، يبدو هذا القول غير مستساغ ، حيث أن التيار لابد أن يمر فى كل من المكثف وملف المحاث عند توصيل كل منهما لمصدر الجهد . وسيوضح هذا التناقض الظاهرى فيما يلى :

عندما تكون الدائرة فى حالة استقرار نجد أن المكثف يفرغ طاقته فى الوقت الذى يختزن ملف المحاث طاقته والعكس بالعكس وبالتالي يحدث تبادل مستمر للطاقة أثناء عملية التبادل بالنسبة للدوائر التى لا تحتوى على أى مقاومة . وحيث أنه لا توجد طاقة مفقودة فى مثل هذه الحالة ، فلا يمكن إذن سحب أى قدرة [أو تيار] من الدائرة الخارجية . وبالتالي فإن دائرة التوازي المثالية والمكونة من LC عند الرنين تكافئ دائرة مفتوحة وفى بعض الاحيان توصف بانها دائرة ترشيح [رفض] حيث انها ترفض تيار المصدر عند الرنين .

إذا كانت قيمة كل من I_C و I_L متساوية عند تردد ما فى دائرة توازي معينة ، يعرف هذا التردد بتردد الرنين ويرمز له بالرمز f_0 . عند هذا التردد تكون قيمة X_L تساوى قيمة X_C بحيث أن

$$X_L = X_C \quad \text{أو}$$

$$2\pi f_0 L = \frac{1}{2\pi f_0 C} \quad \text{حيث}$$

$$4\pi^2 f_0^2 = 1/LC \quad \text{لذلك}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad [\text{بالهنرى و } C \text{ بالفاراد}]$$

وتصل دائرة التوازي المكونة من ملف محاث مقداره 1mH ومكثف سعته 1mf لحالة الرنين عن تردد مقداره

$$\begin{aligned} f_0 &= \frac{1}{2\pi\sqrt{[(1 \times 10^{-3}) \times (1 \times 10^{-9})]}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{10^{-12}}} \\ &= 0.159 \times 10^6 \text{ Hz or } 159 \text{ kHz} \end{aligned}$$

ولا توجد دائرة الرنين المثالية السابقة ففى الحياة العملية حيث أن الملف والتوصيلة المصاحبة لدائرة التوازي لها مقاومات معينة ونتيجة لذلك توجد طاقة مفقودة فى الدائرة اثناء تبادل الطاقة بين L و C . وتوهب هذه الطاقة المفقودة لدائرة التوازي فى صورة تيار متردد . يكون فى العادة صغير القيمة . وللاستدلال على قيمته فى دائرة ما يستعان برقم الاستحقاق للدائرة والذي يعرف بالعامل Q او عامل الجودة .

يجب أن تكون فيه معامل الجودة Q اكبر ما يمكن وهو يعطى النسبة بين التيار المسحوب من المصدر الى التيار الدائر داخل دائرة التوازي فى حالة الرنين .

$$\frac{I_C}{I} = \frac{I_L}{I} = Q \text{ المعامل}$$

تتراوح قيمة معامل الجودة Q للدوائر الرنانة عند الترددات اللاسلكية بين 50 الى 250 وتعتبر الدوائر التى معامل جودتها حوالى 150 ، مرتفعة الجودة . ويصعب الحصول على معامل الجودة اكبر من 50 فى الترددات السعوية . لكى يكون معامل جودة مرتفع فى الدائرة لابد أن تكون نسبة محاطة الملف الى المكثف [النسبة L/C] كبيرة القيمة .

وتستعمل دوائر التوازي المحتوية على LC بكثرة فى مكبرات الموالفة التى ستعرض فى الباب ١١ وتستعمل ايضا فى بعض المذبذبات .

I_L أقل من I_C شكل ٦ - ٧ [ج] . فى هذه الحالة يكون التيار المار فى فرع المكثف اكبر من التيار المار فى فرع ملف المحاطة . والنتيجة النهائية هى أن الدائرة تسحب تيارا متغيرا عن مصدر الجهد بزاوية مقدارها 90° .

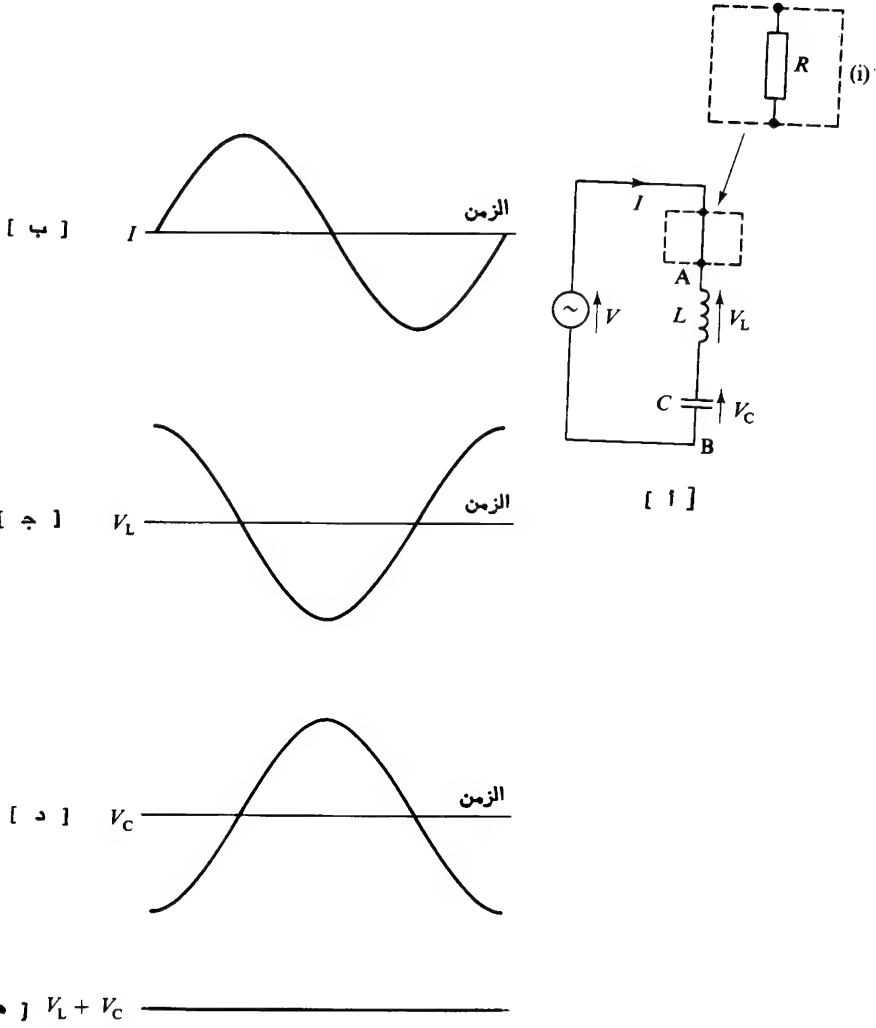
٦-٥ دائرة الرنين المتصلة على التوالي

يحدث الرنين فى دائرة التوالى بطريقة متشابهة للتي تحدث فى دائرة التوازي . بمعنى آخر أن الدائرة تكون رنانة عندما تكون قيمة مفاعلة الحث مساوية لمفاعلة المكثف أى أن $X_L = X_C$. وبالتالي فان تردد الرنين لكل من دائرة التوالى والتوازي يكون

$$f_0 = 1/[2\pi\sqrt{LC}] \text{ Hz}$$

كما ورد سابقا ، فان تردد الرنين لدائرة توالى تحتوى على ملف ذى محاطة مقدارها 1 mH ومكثف سعته 1 M F هى 159 k Hz .

يوضح شكل ٦ - ٨ [ا] دائرة رنين متصلة على التوالى ولا تحتوى أى مقاومات مع الاشكال الموجية المصاحبة لها من [ب] الى [هـ] فاذا ما كانت مكونات الدائرة مثالية

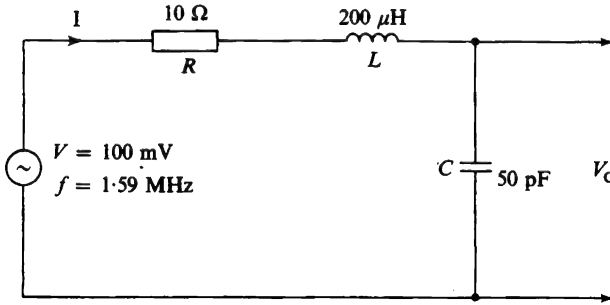


شكل ٦ - ٨ دائرة الرنين المتوازية LC

فان الجهد بين طرفى الملف V_L يتقدم التيار المار بزاوية قدرها 90° بينما يتخلف الجهد بين طرفى المكثف V_C عن التيار المار بزاوية مقدارها 90° تتساوى مفاعلة كل من الملف والمكثف عند حالة الرنين ويمر بكل منهما نفس التيار . وبناء عليه ، يتساوى الجهد بين طرفى كل من ملف الحثاء والمكثف ويضاد كل منهما الآخر . [انظر الاشكال ج ، د] ونحصل على فرق الجهد الكلى بين طرفى الدائرة بجمع الشكلين الموجبين للجهدين V_L و V_C كما هو موضح بالشكل ٦ - ٨ [هـ] . وبمعنى آخر يصبح فرق الجهد بين النقطتين A و B فى شكل ٦ - ٨ [١] فى حالة الرنين .

مساويا للقصير . وهكذا فان دائرة L C على التوالي ، المثالية تكافئ دائرة في حالة قصر .

وخلاصة القول ، أن تيارا في غاية الشدة يمر في حالة الرنين . ومن الناحية العملية فالدائرة لها مقاومة ما مقدارها R يمكن السماح بإدراجها في الوضع (i) في الدائرة بالشكل ٦ - ٨ [١] وهذه المقاومة بالذات هي التي تحد من قيمة التيار المسحوب من المصدر لتصبح قيمته دائما V/R امبير ، في حالة الرنين وتسمى دوائر الرنين ، المتصلة على التوالي ، أحيانا بالدائرة المتقابلة لأنها تتقبل أكبر قيمة تيار ممكن من المصدر في حالة الرنين .



شكل ٦ - ٩ دائرة المثال المذكور

فإذا اعتبرنا دائرة التوالي الموضحة بالشكل ٦ - ٩ . وتصبح الدائرة في حالة رنين عند تردد قدره .

$$f_0 = 1/[2\pi\sqrt{LC}] = 1/[2\pi \times \sqrt{(200 \times 10^{-6} \times 50 \times 10^{-12})}] \\ = 1/[2\pi \times \sqrt{10^{-14}}] = 1.59 \times 10^6 \text{ Hz or } 1.59 \text{ MHz}$$

عند هذا التردد

$$X_L = 2\pi f_0 L = 2\pi \times 1.59 \times 10^6 \times 200 \times 10^{-6} = 2000 \Omega$$

$$X_C = 1/2\pi f_0 C = 1/(2\pi \times 1.59 \times 10^6 \times 50 \times 10^{-12}) = 2000 \Omega$$

وفي حالة الرنين تحدد شدة التيار المار في الدائرة بقيمة مقاومة الدائرة وحدها وتكون قيمته

$$I = V/R = 100 \times 10^{-3}/10 = 10 \times 10^{-3} \text{ A or } 10 \text{ mA}$$

ويصبح الجهد بين طرفي ملف الحثية

$$V_L = IX_L = 10 \times 10^{-3} \times 2000 = 20 \text{ V}$$

ويكون الجهد بين طرفي المكثف

$$V_C = IX_C = 10 \times 10^{-3} \times 2000 = 20 \text{ V}$$

وحيث ان قيمة جهد المصدر تبلغ 0.1V فقط ، فاننا نرى أن الجهد بين طرفى كل من الملف والمكثف L و C فى حالة الرنين ، اكبر من جهد المصدر بمعامل قدره $200 = 20/0.1$ مرة ويبلغ الجهد بين طرفى كل من الملف والمكثف قيمة أقل بكثير من هذه القيمة .

ويعطى معامل الجودة Q لدائرة التوالى معلومات حول تكبير الجهد الناتج بالدائرة كالآتى :

$$\text{معامل الجودة } Q = \frac{\text{الجهد بين طرفى } L \text{ أو } C}{\text{جهد المصدر}} = \frac{1}{2\pi f_0 CR} = \frac{2\pi f_0 L}{R}$$

بتطبيق القيم الخاصة بالدائرة الموضحة فى شكل ٦ - ٨ نحصل على :

$$\text{عامل الجودة } Q = 2000/10 = 200 = 2\pi f_0 L/R$$

٦ - ٦ مقارنة بين رنين دوائر التوازى ورنين دوائر التوالى

يوضح الجدول التالى الخصائص الرئيسية والاختلافات الجوهرية بين نوعى دوائر الرنين .

رنين دوائر التوازى	رنين دوائر التوالى
المعاوقة لسريان التيار	قليلة
التيار المسحوب من المصدر	كبير
الاسم	متقبل
الكمية المكبرة بالدائرة	الجهد

٦ - ٧ معاوقة دوائر التيار المتردد

معاوقة الدائرة الكهربائية ماهى الا المحصلة النهائية لما يعترض سريان التيار ويرمز لها بالرمز Z . لذلك

$$Z = \frac{V}{I} \Omega$$

حيث V هى الجذر التربيعى للقيمة المتوسطة لربع الجهد المسلط بين طرفى الدائرة و I الجذر التربيعى للقيمة المتوسطة لربع التيار وتكون

معاوقة الدائرة نتيجة لتأثير كل من المقاومة ومفاعلة الحث والمفاعلة السعوية . وفى حالة دائرة متصلة على التوالى تعطى المعاوقة بالمعادلة .

$$Z = \sqrt{[R^2 + (X_L - X_C)^2]}$$

كمثال ، اذا اتخذت دائرة متصلة على التوالى القيم

$$V = 20 \text{ mV} \text{ و } R = 50 \Omega \text{ ، } X_C = 200 \Omega \text{ ، } X_L = 1000 \Omega$$

فان

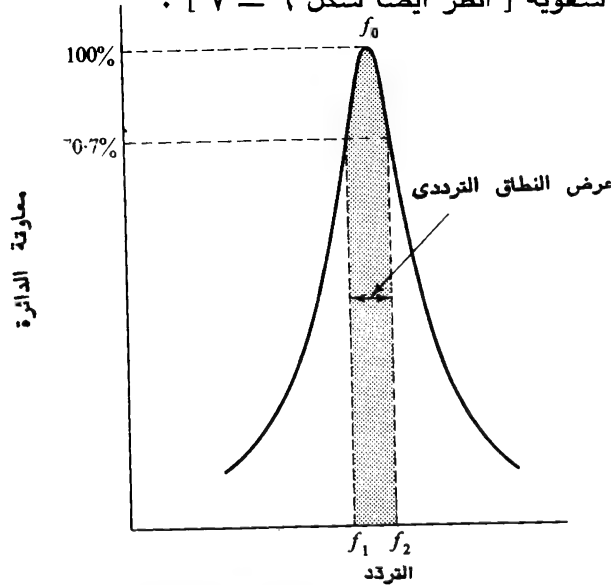
$$Z = \sqrt{[50^2 + (1000 - 200)^2]} = 802 \Omega$$

$$I = V/Z = 20 \times 10^{-3}/802 = 0.025 \times 10^{-3} \text{ A} = 0.025 \text{ mA or } 25 \mu\text{A} \text{ و}$$

٦ - ٨ عرض النطاق الترددى لدائرة رنين

يوصف عرض النطاق الترددى لدائرة رنين كنطاق او مدى الترددات الذى يمكن ان تستجيب له الدائرة .

يبين شكل [٦ - ١٠] تغير معاوقة دائرة التوازى مع التردد . عند تردد اقل فى القيمة من تردد الرنين ، تكون مفاعلة الدائرة عبارة عن مفاعلة حثية [انظر ايضا شكل ٦ - ٧] . وكلما ازداد التردد ازدادت قيمة المعاوقة ايضا حتى تصل الى أكبر قيمة لها عند تردد الرنين f_0 . عند هذا التردد يكون سلوك الدائرة كما لو انها مقاومة بحتة . وعند ازدياد تردد المصدر اكثر من ذلك تنخفض قيمة المعاوقة ويصبح سلوك الدائرة كما لو انها سعوية [انظر ايضا شكل ٦ - ٧] .



شكل ٦ - ١٠ منحنى الاستجابة لدائرة توازى

عرض النطاق الترددي لدائرة توازي [انظر شكل ٦ - ١٠] هو نطاق الترددات التي تكون فيها معاوقة الدائرة اكبر من 70.7% من القيمة العظمى . ويمثل التردد f_1 في شكل [٦ - ١٠] قيمة التردد المنخفض والتي يصبح عندها قيمة المعاوقة مساوية لـ 70.7% من قيمة المعاوقة في حالة الرنين ، وتعرف بتردد القطع المنخفض ، ويمثل التردد f_2 قيمة تردد القطع المرتفع والتي تصبح عندها قيمة المعاوقة مساوية لـ 70.7% من قيمتها في حالة الرنين .

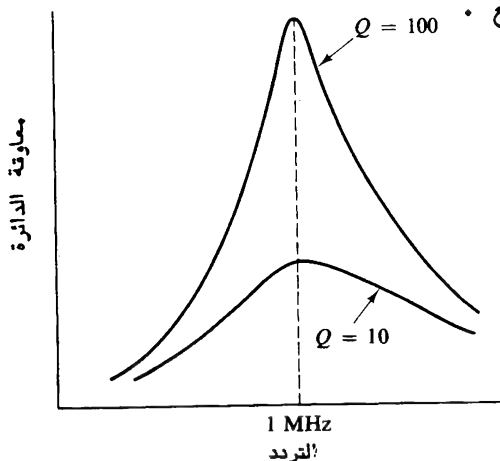
عرض النطاق الترددي B للدائرة هو

$$B = f_2 - f_1 \text{ Hz}$$

ويعطى عرض النطاق الترددي للدائرة ايضا بالعلاقة

$$B = \frac{f_0}{Q} \text{ Hz}$$

حيث Q هو معامل الجودة لدائرة التوازي . اذا ما بلغ تردد الرنين لدائرة توازي بمقدار 1 MHz وكان معامل الجودة لها 100 فان عرض نطاقها الترددي يبلغ .



شكل ٦ - ١١ بيان العلاقة بين الجهد والتيار لدائرة ترددية من وجه واحد

الحصول على أحسن انتقاء من دائرة ذات معامل جودة مرتفع

تكون ترددات القطع المنخفضة والمرتفعة في هذه الحالة حوالي 9.95 kHz و 10.05 kHz على الترتيب وبالنسبة لدائرة رنين توازي لها نفس تردد الرنين السابق ولكن قيمة معامل الجودة لها هو 10 يكون عرض النطاق الترددي لها هو $1000000/10 = 100000 \text{ Hz}$ أو 100 kHz . ويوضح شكل ٦ - ١١ منحنيات استجابة التردد لهاتين الدائرتين ، حيث نحصل على أحسن انتقاء من الدائرة ذات معامل الجودة المرتفع .

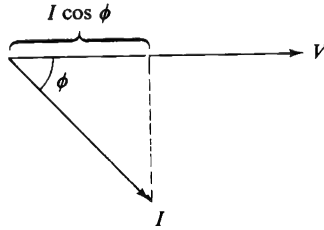
٦ - ٩ القدرة المستهلكة في دائرة تيار متردد

في دائرة ترددية من وجه واحد ، يوضح الشكل ٦ - ١٢ بيان العلاقة بين الجهد والتيار ، حيث تفصل بينهما زاوية طور Q . وتعطى القدرة المستهلكة في الدائرة بالعلاقة .

القدرة = P = الفولت \times مركبة التيار المتطابقة الفولت

$$V \times I \cos \phi =$$

حيث ϕ هو جيب تمام الزاوية التي بين V و I



شكل ٦ - ١٢ . بيان العلاقة بين الجهد والتيار لدائرة ترددية ذات طور واحد

وبين الجدول ١ - ٦ تأثير قيمة زاوية الطور على القدرة المستهلكة في الدائرة والتي تسحب تيارا قدره 5A من مصدر جهد 240 V .

جدول ١ - ٦ تأثير زاوية الطور على القدرة المستهلكة

زاوية الطور ϕ	$\cos \phi$	الطاقة المستهلكة $VI \cos \phi$ وات $= 240 \times 5 \times \cos \phi = 1200 \cos \phi$
0°	1.0	1200
30°	0.866	1039
60°	0.5	600
90°	0	0

يوضح الجدول أن القدرة المستهلكة تقل تدريجيا كلما ازدادت زاوية الطور [زاوية الطور يمكن في الحقيقة أن تكون متقدمة أو متخلفة] من صفر الى 90° ولا توجد قدرة مستهلكة عندما تكون زاوية الطور 90° .

وتعرف القيمة $\cos \phi$ بمعامل القدرة للدائرة وتعطى بالمعادلة

معامل القدرة = $\cos \phi$ =

الفولت - أمبير المستهلكة

ويوصف استهلاك الفولت — أمبير (VA) فى الدائرة دائما باستهلاك القدرة الظاهرة . وتمثل وحدات الوات المستهلكة القدرة الحقيقية او القدرة الفعالة المستهلكة . وتعنى القيمة المرتفعة لمعامل القدرة أن جزءا كبيرا من استهلاك الـ VA ، قد تم الانتفاع به فى الدائرة .

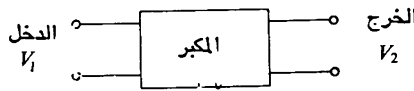
٦-١٠ الديسيبل

كسب الجهد هو رقم استحقاق مهم للمكبر الالكترونى وتبلغ القيمة العددية لكسب الجهد للمكبر داخل الصندوق الاسود بالشكل [٦ — ١٣] .

$$\text{كسب الجهد} = A_v = \frac{\text{قيمة جهد الخرج}}{\text{قيمة جهد الدخل}} = \frac{V_2}{V_1}$$

فإذا كانت قيمة V_1 هى 10 m V r.m.s وقيمة V_2 هى 1 V r.m.s، إذن قيمة كسب الجهد هى

$$A_v = V_2/V_1 = 1/10 \times 10^{-3} = 100$$



شكل ٦ - ١٣ رسم تخطيطى للمكبر

وفى تطبيقات الكترونية كثيرة، يعبر عن كسب الجهد فى شكل لوغاريتمى وتكون وحدته الديسيبل [سميت باسم بعد العالم (Alexander Graham Bell)] ويرمز لها بوحدة الـ dB . يعبر عن كسب الجهد للمكبر بنسبة لوغاريتمية كما يلى :

$$\text{كسب الجهد بالديسيبل} = 20 \log_{10} \frac{V_2}{V_1} \text{ dB}$$

حيث $\log_{10} A_v$ هو لوغاريتم للاساس 10 [اللوغاريتم الشائع] للقيمة A_v . فإذا بلغت القيمة العددية للكسب A_v مقدار 100 فان كسب الجهد للمكبر بالديسيبل هو

$$20 \log_{10} 100 = 20 \times 2 = 40 \text{ dB}$$

أما إذا كانت قيمة A_v هى الوحدة فان كسب الجهد اللوغاريتمى

$$20 \log_{10} 1 = 20 \times 0 = 0 \text{ dB}$$

افن ، كسب الجهد الذى قيمته صفر يعنى انه لا يوجد تغير فى مستوى الجهد بين دخل وخرج المكبر [اى أن $V_2 = V_1$]

اذا كانت قيمة A_v اقل من الواحد [V_2 اقل من V_1] فيمكن حساب القيمة اللوغاريتمية لكسب الفولت كالآتى :

$$\text{كسب الجهد بالديسيبل} = 20 \log_{10} \frac{V_2}{V_1}$$

$$= 20 \log_{10} \left(\frac{1}{V_2/V_1} \right)^{-1} = -20 \log_{10} \left(\frac{1}{V_2/V_1} \right)$$

كمثال . اذا كان $V_2 = 0.02 \text{ V}$ و $V_1 = 0.2 \text{ V}$ فان $V_2/V_1 = 0.02/0.2 = 0.1$

وتأخذ القيمة اللوغاريتمية لكسب الفولت القيمة التالية :

$$-20 \log_{10} \frac{1}{0.1} = -20 \log_{10} 10 = -20 \times 1 = -20 \text{ dB}$$

وتقل قيمة كسب الجهد الحدية عن الوحدة لانواع معينة من المكبرات مثل دوائر تابع الجهد كما سيوضح فى الفصلين الثالث عشر والرابع عشر. وهناك بعض الانواع الاخرى من الدوائر ، مثل خطوط الارسال وشبكات اضمحلال الفولت [تعرف بالموهونات] يكون كسب الجهد لها ايضا اقل من الواحد .

وتعطى الاشارة الحسابية التى تصاحب القيمة اللوغاريتمية لكسب الجهد المعلومات الآتية ،

اشارة موجبة : القيمة العددية لكسب الجهد تكون اكبر من الواحد

اشارة سالبة : القيمة العددية لكسب الجهد تكون اقل من الواحد

اذا بلغت القيمة اللوغاريتمية لكسب الجهد صفرا فان القيمة العددية لكسب الجهد تكون واحدا .

الفصل السابع

المحولات

المحول هو نبيلة لتحويل القدرة المتغيرة أو المتقطعة ، عن طريق الحث الكهرومغناطيسى من مستوى معين لمستوى آخر ، سواء بالنسبة للجهد أو التيار . ولاشك أن القارئ على دراية باستخدام المحولات فى شبكات القوى الكهربائية وعلى مستويات عالية من الجهد والقدرة . وسنعرض فى هذا الكتاب بصفة مبدئية للمحولات المستخدمة فى التطبيقات الالكترونية والتي لها قدرة مقننة تتراوح ما بين الواط الواحد الى بضع وحدات من الواط .

٧-١ فكرة عمل المحول

يتكون المحول من عدد من الملفات الملفوفة على قلب مغناطيسى مشترك ، وتتواصل هذه الملفات عن طريق الفيض المغناطيسى التبادلى [المشترك] . وتعرف الملفات المتقارنة مغناطيسيا بهذه الطريقة ، بالتقارن التبادلى . ولكى يستحث الفيض المغناطيسى ق.د.ك فى الملف ، فلا بد أن يكون الفيض متغيرا مع الزمن . واذا ما أحدث هذا الفيض المتغير بواسطة ملف آخر متقارن تبادليا مع الملف الاول فان المعادلة التى تربط ، قيمة الـ ق.د.ك التبادلية والمستحثة ، مع معدل تغير الفيض التبادلى هى :

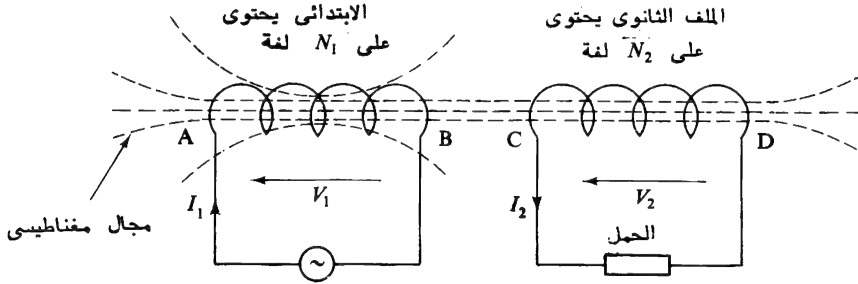
$$e = N \times \text{معدل تغير الفيض المتواصل مع الملف} \\ = N \frac{d\Phi}{dt}$$

حيث N عدد لفات الملف المستحث بها الـ ق.د.ك و Φ الفيض المغناطيسى المترابط مع الملف ، $d\Phi/dt$ هى الطريقة المختصرة للتعبير عن معدل تغير الفيض المتواصل .

فاذا تغير الفيض المغناطيسى المصاحب لملف عدد لفاته 1000 لفة بمعدل 0.04 ويبر لكل ثانية ، فان قيمة الـ ق.د.ك التبادلية المستحثة بالملف هى :

$$e = 1000 \times 0.04 = 40 \text{ V}$$

فاذا كانت قيمة الفيض المتواصل مع الملف لها قيمة ثابتة ، اى انها لا تتغير ، فان قيمة الجهد التبادلى المستحث فى الملف تصبح صفرا . ويوضح شكل ٧ - ١ محول ذو ملفين ، ملف ابتدائى موصل بمصدر القدرة او مصدر اشارة الدخل .



شكل ٧ - ١ اساس المحول

[تذكر اننا نتعامل فى علم الالكترونييات مع مستويات من القدرة فى حدود الميلى وات فقط] ، هذا ويوصل الحمل بالملف الثانوى . ولكى يمكن نقل القدرة بين الملفين ، فلا بد ان يتغير الفيض المغناطيسى بطريقة او اخرى وبصفة مستمرة حتى تستحث ق.د.ك فى الملف الثانوى . ولا يستلزم الامر ان يكون ، الشكل الموجى للجهد المسلط على الملف الابتدائى جيبييا [ونادرا ما يكون جيبييا فى الدوائر الالكترونية] ولكن من الانسب فى شرحنا ان نفترض موجة جيبيية .

عند تسليط جهد جيبيى على ملفات المحول الابتدائى ، نجد ان الشكل الموجى للجهد المستحث فى الملف الثانوى يتبع نفس الشكل الجيبيى . ويعتمد بيان العلاقة بين جهدى الملف الابتدائى والثانوى على تركيب وتوصيلات الملف . فمثلا ، من الممكن ان تكون ق.د.ك للملف الثانوى ، بين النقطتين C و D شكل ٧ - ١ ، فى نفس او عكس اتجاه جهـد الملف الابتدائى بين النقطتين A و B وكثيرا ما يستخدم المحول كنبطة عازلة بين دائرتين فى الدوائر الالكترونية ، عندما تكون زاوية الطور بين الجهدين ليست ذات أهمية . وفى حالات اخرى مثل حالة التغذية المرتدة والمذبذبات [انظر الفصل ١٣] ، تكون معرفة زاوية الطور بين الجهدين الابتدائى والثانوى ذات أهمية بالغة .

عند شرح عمل المحولات فانه توجد ارقام استحقاق ذات أهمية مثل النسبة بين عدد اللفات والنسبة بين الجهدين كما ستناقش فيما يلى : **نسبة اللفات** : ان القاعدة الرئيسية لفكرة عمل المحول النموذجى هى انه عند توصيل الملف الثانوى للحمل ، فان كلا من الملفات الابتدائية والثانوية تعطى نفس العدد من الامبير - لفة . لذلك

$$N_1 I_1 = N_2 I_2 \text{ امبير - لفة}$$

حيث N_1 و N_2 عدد لفات الملف الابتدائي والثانوى على الترتيب و I_1 و I_2 قيم الجذر التربيعى لربع القيم المتوسطة للتيارات . ومن الناحية العملية يجب أن يكون الامبير - لفة للملف الثانوى لانه يحمل التيار المغنط للمحول بالاضافة الى مد الطاقة التى يستهلكها الملف الثانوى .

نسبة لفات المحول هى نسبة عدد لفات الملف الثانوى الى عدد لفات الملف الابتدائى .

$$\text{نسبة اللفات} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2} \quad (٧ - ١)$$

اذا كانت نسبة الملفات اقل من الواحد يعرف المحول بمحول خفض الجهد اما اذا كانت نسبة الملفات اكبر من الواحد ، فيعرف المحول بمحول رفع الجهد .

نسبة الجهد : المحول النموذجى لا يسرب اى طاقة وتكون كفاءته ١٠٠٪ وفى هذه الحالة تساوى الطاقة المعطاة بالملف الابتدائى ما يستهلكه الحمل من طاقة .- اى أن

$$V_1 I_1 \cos \phi_1 = V_2 I_2 \cos \phi_2$$

مرة اخرى ، بالنسبة للمحول النموذجى ، ويكون

$$V_1 I_1 = V_2 I_2$$

(٧ - ٢)

او

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

ومن ضمن مواصفات محول القوى الكهربائية ، هناك خاصية تتضمن كتابة القدرة التقديرية [المقننة] له بالامبير فولت وليس بالوات . وهذه الطريقة لتوصيف القدرة التقديرية تضع حدا اعلى لقيمة التيار الذى يمكن سحبه من المحول بغض النظر عن معامل قدرة الحمل . وهكذا ، فان المحول المقنن 10 VA وقيمة الجذر التربيعى للقيمة المتوسطة لربع الجهد الثانوى 0 V r.m.s يمكن ان تعطى اكبر تيار مقداره 1 A عند اى معامل قدره .

المعادلة العامة للمحول : بربط المعادلات [٧ - ١ و ٧ - ٢] ينتج

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{I_1}{I_2} \quad (٧ - ٣)$$

من المعادلة السابقة يمكن استنتاج

$$\frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2}$$

أى أن عدد وحدات الفولت لكل لفة ، تتساوى للملفين الابتدائي والثانوي وحتى إذا احتوى المحول على بضع لفات ثانوية ، فإن العلاقة السابقة تعتبر صحيحة ، حيث أن عدد وحدات الفولت لكل لفة هو رقم ثابت لكل من الملفين .

مثال ٧ - ١ : محول جهد يستخدم مع عدد من المعدات الإلكترونية ، يعمل عند 350 V r.m.s ماذا كان جهد الملف الثانوي مقداره 350 V r.m.s

وكان عدد لفات الملف الابتدائي ٢٠٠ لفة ، احسب عدد لفات الملف الثانوي
الحل باستخدام المعادلة [٧ - ٣] ، نجد أن

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{V_2}{V_1}$$

أو

$$\frac{N_2}{200} = \frac{350}{250}$$

لذلك

لفة

$$N_2 = \frac{350}{250} \times 200 = 280$$

لاحظ أن للمحول نسبة رفع قيمتها 350/250 = 1.4

مثال ٧ - ٢ : إذا أعطى المحول المذكور في المثال [٧ - ١] تيارا ثانويا قيمته 100 mA .
احسب قيمة التيار الابتدائي مع إهمال القدرة المفقودة في المحول .

الحل : مرة أخرى ، باستخدام المعادلة [٧ - ٣]

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

أو

$$\frac{350}{250} = \frac{I_1}{100}$$

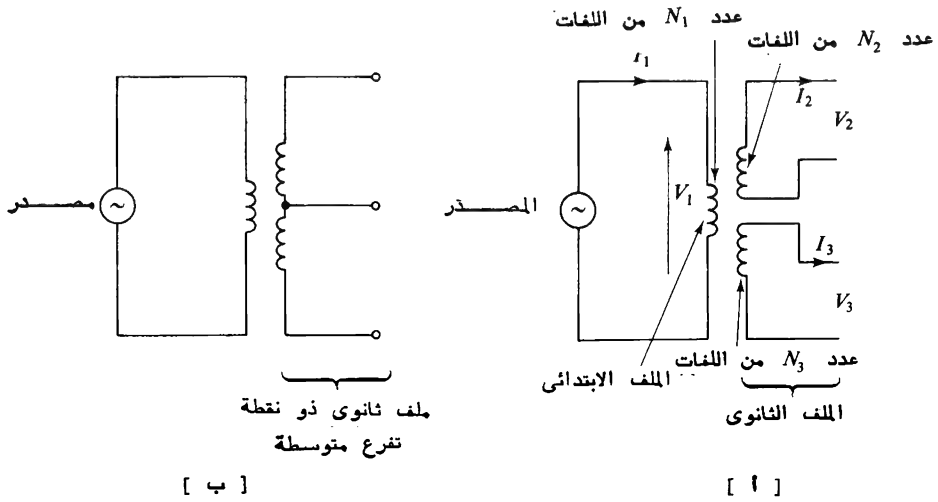
بتبديل موضع المعادلة لإيجاد

$$I_1 = 100 \times \frac{350}{250} = 140 \text{ mA}$$

ولنلاحظ انه بينما يكون للمحول نسبة رفع للجهد ، فان له نسبة خفض للتيار من 140 mA الى 100 mA . وفى الحقيقة . فان قيمة التيار الابتدائى اكبر من القيمة المحسوبة حيث أن الملف الابتدائى يحمل ايضا التيار المغنط .

٧ - ١٢ المحولات متعددة الملفات والمحولات ذات نقطة التفرع المتوسطة

تستلزم تطبيقات كثيرة فى الالكترونيات ، استخدام المحولات متعددة الملفات ، والمحولات ذات نقطة التفرع المتوسطة .



شكل ٧ - ٢ - [ا] محول متعدد الملفات [ب] محول نقطة تفرع متوسطة

يوضح شكل [٧ - ٢] الرسم التخطيطى لمحول ذى ملفين ثانويين . ويستخدم مثل هذا النوع من المحولات عندما تدعو الحاجة لمصدرين مختلفين للجهد ومنفصلين كهربائيا . ويمكن استخدامه ايضا مع مولد النبضات من النوع الذى سيوضح فى الفصل ١٣ والذى يستعمل لتشغيل الدوائر البوابية المكون من ثايرستورز او تراك [تفصيلات هذا الجزء فى الفصل ١٥] . وحيث أن الملف الابتدائى يغذى جميع الملفات الثانوية فان تقنين الفولت — أمبير للمحول يعطى بحاصل جمع تقنين الفولت — أمبير لجميع الملفات الثانوية . أى أن

$$V_3 I_3 + V_2 I_2 = V_1 I_1 = \text{للمحول (VA) أمبير}$$

إذا كان حاصل ضرب الفولت — أمبير المعطى بالملفات الثانوية هى 10 و 4.3 فولت أمبير على الترتيب ، فان تقنين الفولت — أمبير للمحول [باهمال الفقد فى المحول] هو 14.3 VA . وعلاوة على ذلك ،

حيث أن عدد وحدات الفولت لكل لفة هو رقم ثابت بالنسبة لكل ملف ، فإن

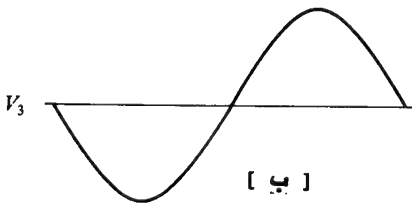
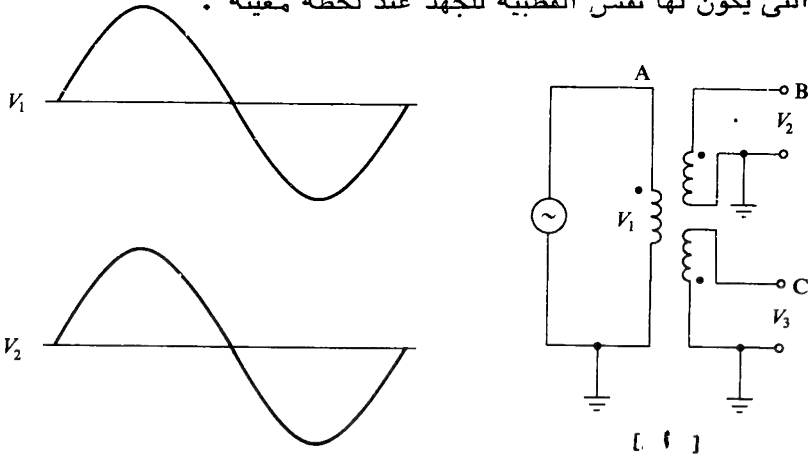
$$\frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2} = \frac{V_3}{N_3}$$

يستخدم الملف ذو نقطة التفرع المتوسطة ، شكل ٧ - ٢ [ب] ، بكثرة مع مصادر القدرة التي تغذى دوائر التوحيد [التقويم] [أنظر الفصل ٨] كما تستخدم أيضا في كثير من دوائر الماسلكي والتلفزيون والتحكم الآلي ، ودوائر الاتصال . ويتساوى جهد الملفين الثانويين في معظم الحالات ، بحيث تتخذ نسبة اللفات ، بين الملف الابتدائي وكل من الملفين الثانويين ، نفس القيمة .

فإذا بلغت قيمة هذه النسبة مثلا 1.4 ، فإن جهد المحول يوصف بنسبة (1.4+1.4) : 1 ويكون جهد الخرج له 350-0-350 V إذا كان جهده الابتدائي قيمته 250 V .

علامة النقطة للـ . ق.د.ك المستحثة التبادلية : من المرغوب فيه ، أن نستطيع بيان العلاقة بين الجهود المستحثة في ملفات المحول فوق الاشكال التخطيطية للدوائر الكهربائية .

ويوضح شكل ٧ - ٣ إحدى الطرق التي تظهر هذه المعلومات وتعرف باسم علامة النقطة وفي هذه الطريقة ، توضح نقطة عند نهاية الملفات التي يكون لها نفس القطبية للجهد عند لحظة معينة .



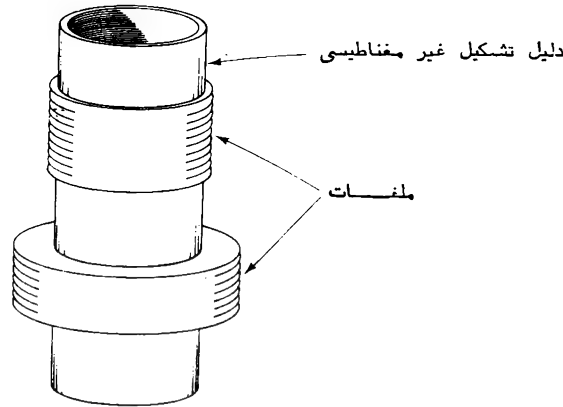
شكل ٧ - ٢ رمز النقطة للجهود المستحثة

فعندما تكون قطبية نهاية الملف الابتدائي شكل ٧ - ٣ [١] ، الميزة بالنقطة ، موجبة عند لحظة معينة ، فان جميع نهايات الملفات الثانوية المميزة بالنقط ، تكون موجبة بالمثل عند نفس اللحظة . فاذا كان الطرف A فى لحظة معينة من الزمن موجبا بالنسبة الى الارض فان جهد الطرف B يكون موجبا بالمثل ، أما الطرف C . فيكون سالبا وبمعنى آخر ، فان V_2 يتخذ نفس اتجاه V_1 بينما يتخذ V_3 عكس اتجاه V_1 .

٣ - ٧ أنواع المحولات

يمكن تصنيف المحولات المستخدمة فى الدوائر الالكترونية الى نوعين هما محولات القلب الهوائى ومحولات القلب الحديدى [يشمل النوع الاخير ايضا المحولات ذات قلوب غريرية] .

محولات القلب الهوائى : تلف الملفات فى هذا النوع من المحولات حول دليل تشكيل غير مغناطيسى . ويوضح شكل ٧ - ٤ واحدا من انواع المحولات الشائعة ذوات القلب الهوائى ويعمل على تردد اللاسلكى .

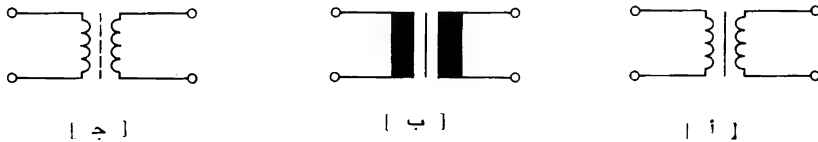


شكل ٧ - ٤ محول له قلب هوائى يعمل على تردد اللاسلكى

ولا تستعمل محولات القلب الهوائى كأنبطة لمحولات القدرة حيث تتسرب كمية كبيرة من المغناطيسية من بين الملفات ويتواصل مع الملف الثانوى ، قدر ضئيل جدا من الفيض المغناطيسى الناتج من الملف الابتدائى . ومع ذلك تستخدم هذه المحولات بكثرة فى دوائر الموالفة بمعدات الراديو والتليفزيون واجهزة الاتصالات . وتعطى هذه المحولات درجة انتقاء عالية بحد عرض معين من النطاق الترددى .

محولات القلب الحديدي : وتنقسم هذه المجموعة فى علم الالكترونيات الى ثلاثة اقسام فرعية هى محولات مصدر القدرة ومحولات التردد السمعى والمحولات النبضية .

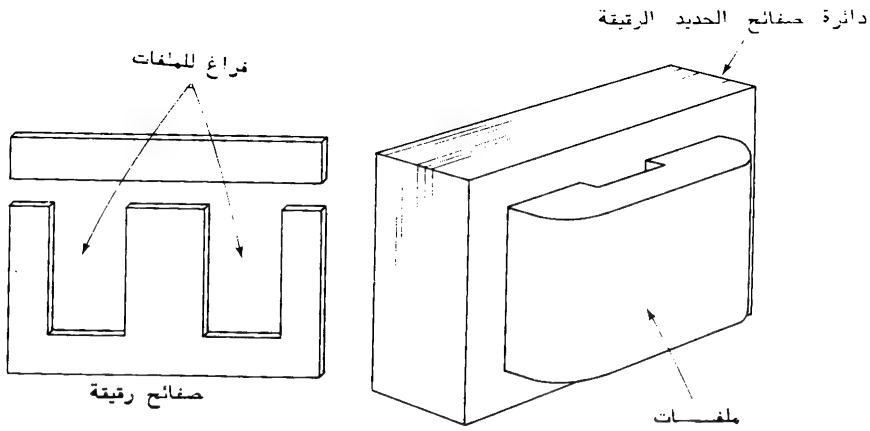
وتكون لمحولات مصدر القدرة قلوب حديدية تبرد بالهواء ويصل تقنياتها الى حوالى 1000 VA عند تردد المصدر . ويوضح شكل [٧ - ٥] الرموز المستخدمة لدوائر محولات القلب الحديدي والقلب الفريتى . ويكون لهذه المحولات فى بعض الاحيان ملف ثانوى ذو نقطة تفرع متوسطة مع ملفات ثانوية اخرى لبعض استعمالات مصادر القدرة المساعدة . وفى بعض المنشآت يتحتم عزل النظم الالكترونية عزلا كهربائيا تاما عن المصدر الاساسى وذلك لدواعى الامن ، وكمثال ، منضدة للاختبار فى ورشة تصليح التليفزيون . ويرتفع تقنين المحول ، فى هذه الحالة ، ليصل الى ما يعادل 500 او 1000 فولت - امبير . وفى بعض الحالات ، يمكن أن تحتوى الملفات الثانوية على ملفين منفصلين ذى نقطتى التفرع المتوسطتين بحيث يعطى منهما جهدا قيمته 60 - 0 - 60 فولت مثلا . ويمكن أن يستخدم كل ملف بعدئذ للحصول على مصادر متنوعة



شكل ٧ - ٥ [ا] و [ب] رموز مختلفة لمحولات القلب الحديدي و [ج] رمز دائرة المحول ذى القلب الفريتى

مثل 60 V ، 60-0-60 فولت و 120 فولت ، فاذا تم ايصالهما على التوالى يمكن ان نحصل على مصدر 120-0-120 فولت او مصدر جهد 240 فولت .

محولات التردد السمعى : هى محولات صغيرة يحتوى كل منها على قلب حديدي ومصممة لكى تعمل على مدى الترددات السمعية (15 Hz — 20 k Hz) وفى عديد من التطبيقات منها التقارن المرحلى بين المكبرات ، وفى دوائر التغذية المرتدة . انظر الفصل ١٣ . يقع تقنين الفولت امبير لهذه الاجهزة ، ما بين عدد قليل من الملى وات فى حالة محولات التقارن المرحلى | الحجم النموذجى 15 × 15 × 20 mm او 0.6 × 0.6 × 0.8 in الى 15 وات او أكثر فى حالة محولات الخرج فى احوال القدرة المرتفعة للتردد السمعى عند مرحلة الخرج . ولكى نستطيع المقارنة ، فان الحجم الطبيعى لمحول الخرج السمعى الذى قدرته 15 W تبلغ حوالى 80 × 70 × 50 mm (3.25 × 2.75 × 2 in) ويبين شكل ٧ - ٦ محول خرج شائع الاستعمال .



[ب]

[ا]

شكل ٧ - ٦ | تحول جهد من النوع ذو الدائرة المغناطيسية المحيطة [باللفائف]
 ا ب | شكل تخطيطي يوضح الصفائح الرقيقة على هيئة E I

من الضروري أن تحمل الملفات الابتدائية لعدد كبير من محولات التردد انسمى تيارا مستمرا بالإضافة الى مركبات التيار المتردد التى تعبر عن اشارة التيار . وفى العادة . فان العامل الذى يحدد حجم القلب ، فى هذه الحالة ، هو قيمة التيار المستمر . ويمكن تقليل تأثير التيار المستمر فى حالات كثيرة باستخدام مكبرات متصلة بطريقة دفعى جاذبى [انظر الفصل ١١] .

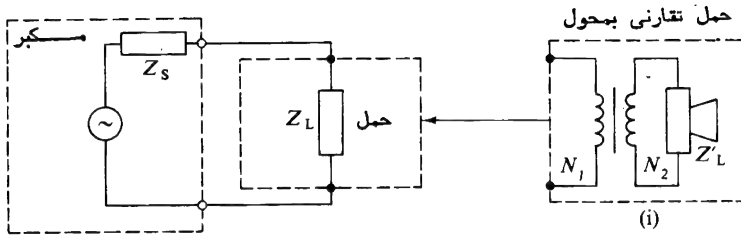
يستحسن ان يصمم المكبر ليعمل بدون المحولات حيث انها كبيرة الحجم وغالية الثمن كما انها تشوه الاشارة المارة خلال بعض المكبرات .

المحولات النبضية : وتصمم لترسل نبضات ضيقة جدا بدون تشويه عند ترددات فى مدى الميجاهرتز وتحوى بعض التطبيقات المعتادة للمحولات النبضية دوائر المذبذبات والمولدات النبضية لاستعمالات الثايرستور والترايك .

٧ - ٤ المحول كنيطة لمواومة المعاومة

من الممكن اثبات ، انه لنقل أقصى قدرة ممكنة من المكبر الى الحمل ينبغي ان تتساوى معاومة المكبر الداخلية [تعرف ايضا باسم معاومة الخرج للمكبر] مع معاومة الحمل نفسه [انظر كتاب الالكترونيات الصناعية لمزيد من التفاصيل Noel, M. Morris ، الناشر Mc. Graw, Hill

ويوضح شكل [٧ - ٧] ، الحالة العامة حيث تظهر المعاومة الداخلية للمكبر Z_s ومعاومة الحمل Z_L وننقل أقصى قدرة ممكنة ، فى هذه الدائرة ، للحمل عندما تكون $Z_s = Z_L$.



شكل ٧ - ٧ أقصى قدرة يمكن أن تنتقل إلى الحمل

يمكن فى حالة مكبرات الترانزستور للتردد السمعى ان يتصل حمل الجهاز مباشرة بطرفى المكبر كما هو موضح فى شكل ٧ - ٧ ، والسبب هو انه يمكن اختيار مقاومة الخرج لمكبر الترانزستور التى تتواءم مع مقاومة المجاهير المتوفرة تجاريا . وان قيمة مقدارها $3,7,15 \Omega$ لمعاوقات المجاهير لتعتبر قيمة شائعة . وللحصول على اكبر قدرة يمكن انتقالها بين الضمام والمجهر ، فمن الضرورى ان يصل المجهر عن طريق محول الى مكبر حتى يمكن مواءمة معاوقة الحمل بمعاوقة الخرج للمكبر . وتقـع هذه المعاوقة فى المدى ما بين $4 k\Omega$ الى $16 k\Omega$ [انظر مثال ٧ - ٣ ادناه] .

فاذا ما وصلت معاوقة Z'_L بين طرفى الملف الثانوى للمحول فان من الممكن اثبات [انظر المرجع السابق] ان المعاوقة الفعالة الظاهرة بين طرفى الملف الابتدائى هى $(N_1/N_2)^2 Z'_L$. [كما هو مضمن فى (i) بالشكل ٧ - ٧ . لكى تنتقل اقصى قدرة لمعاوقة هذا الحمل فلا بد ان

$$Z_s = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 Z'_L$$

وبتضح من المعادلة السابقة ان نسبة لفات المحول اللازمة لد اقصى قدرة محمولة هى

$$\frac{N_1}{N_2} = \sqrt{\left(\frac{Z_s}{Z'_L} \right)}$$

مثال ٧ - ٣ . تقارن مكبر للتردد السمعى ذى مقاومة خرج مقدارها $3.4 k\Omega$ مع مجهر مقاومة 15Ω عن طريق محول . اوجد قيمة نسبة اللفات المثلى للمحول .

الحل . من المعادلات السابقة ، تكون النسبة المطلوبة هى

$$\frac{N_1}{N_2} = \sqrt{\left(\frac{3400}{15} \right)} = 15:1$$

٧ - ٥ دوائر المحولات تحت الاحوال العابرة

المحولات هي انبطة صلدة تتعامل مع الاحمال الزائدة سواء لمدة طويلة او لمدة قصيرة [عابرة] . ومع ذلك فقد يتسبب عن هذه الاجهزة نفسها زيادة عابرة ومفاجئة فى الجهد مما قد يؤدى الى تلف المعدات الالكترونية .

ويحدث هذا التشويش العابر كنتيجة لعدد من العمليات تشمل وصل او قطع دائرة المحول فعند لحظة غلق مفتاح المصدر لتغذية المحول بالقدرة يندفع تيار فى الملف الابتدائى قد يؤدى الى حدوث جهد مستحث عابر [شرارة] فى الدائرة الالكترونية ، من الممكن ان يتلف انبطة اشباه الموصلات . وعند فتح المفتاح الرئيسى ، يصل تيار الحمل لقيمة الصفر بطريقة مفاجئة من الممكن ان يتسبب عنها جهد عابر مستحث ذو قيمة عالية .

وتعتبر مثل هذه الحالات من التشغيل مخاطر معتادة بالنسبة للنظم الصناعية ، وتصميم الدوائر الالكترونية لتتكيف مع مثل هذه الانواع من المجالات العابرة . وفى بعض الحالات تؤخذ بعض التحويلات بتوصيل مقاومة تابعة للجهد عبر الخطوط الموصلة من مصدر القدرة ، لفرض الوقاية عندما تقل فرص احتمال حدوث شرارة كهربائية .

الفصل الثامن

وحدات دايود الجوامد

٨ - ١ خواص الداىود :

وحدة الداىود ، هى نببطة كهربائية ذات طرفين تسمح بمرور التيار بسهولة فى اتجاه واحد وتمنع مرور التيار فى الاتجاه العكسى ويوضح شكل ٨ - ١ [١] دائرة الداىود الاصطلاحية حيث يعرف شقا الداىود بالانود والكاثود على الترتيب .

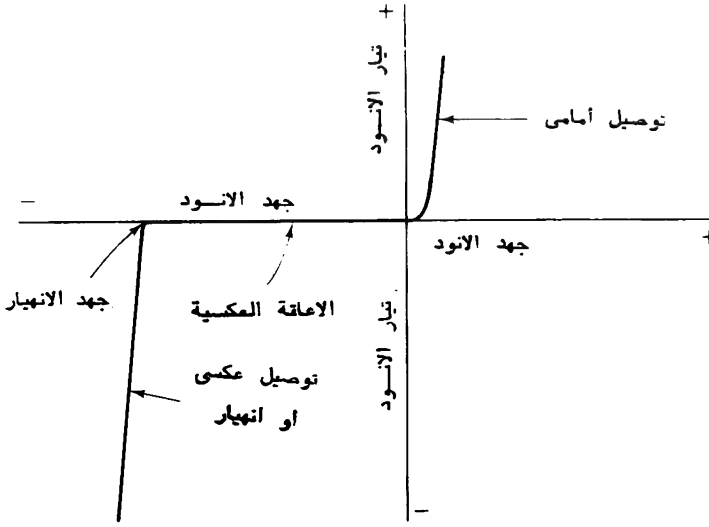
ويستمر مرور التيار خلال الداىود عندما يكون جهد شق الانود موجبا بالنسبة الى شق الكاثود . ولا يمر الا تيار تسرب صغير جدا خلال الداىود عندما يكون جهد الانود سالبا بالنسبة الى الكاثود . وهكذا يمكن اعتبار الداىود كإفتاح جهد حساس يصير موصلا او مغلقا (ON) عندما يكون الانود اعلى جهدا من الكاثود ، ويصير فاصلا او مفتاحا (OFF) عندما يكون جهد الانود سالبا بالنسبة للكاثود . ففى الحالة الاولى ، عندما يكون موصلا يقال ان الداىود **امامى الانحياز** اما فى الحالة الثانية ، عندما يعوق مرور التيار ، فيقال ان الداىود **عكسى الانحياز** .

ومن الممكن اختبار الداىود باستعمال مقياس كهربائى متعدد القياسات بتوصيله بين طرفى قياس المقاومة . وفى هذه الحالة، يتصل القطب الموجب للبطارية الداخلية بطرف الجهاز السالب ، بينما يتصل القطب السالب منها بطرف الجهاز الموجب وتقاس مقاومة الانحياز العكسى للداىود بتوصيل الانود بطرف جهاز القياس الموجب ، وتوصيل الكاثود بالطرف السالب له . [ويلاحظ أنه توجد دائما علامة بطريقة ما فوق كاثود الداىود وتكون عبارة عن نقطة حمراء فى بعض الاحيان .] وعند هذا الوضع ، يجب ان تكون قراءة جهاز القياس مالا نهاية . ومن الممكن قياس مقاومة الانحياز الامامى بعكس اطراف الداىود ، وتكون قراءة الجهاز عادة فى حالة الداىود السليم ، بضع مئات من وحدات الاوم . وتبلغ القيمة المألوفة للتيار الذى يمدّه جهاز القياس المتعدد القياسات، فى حالة الانحياز الامامى للداىود جزءا من الميلى امبير ، وليس من المحتمل أن تتلف مثل هذه القيمة اى داىود تحت الاختبار .

ومن المعلوم أن قيمة فرق الجهد بين طرفى مفتاح مثالى عند توصيلة تبلغ الصفر ، أما عند فتحه ، فإن قيمة تيار التسرب تساوى الصفر . لكن دايود اشباه الموصلات لن يعمل كمفتاح مثالى ، حيث أنه يوجد فرق للجهد بين الكاثود والانود فى حالة الانحياز الامامى [انظر شكل ٨ - ١] ب [ب] . فعند هذه الحالة من الانحياز الامامى لنوال التشغيل ، يصبح من المألوف لفرق الجهد بين طرفى الانود ، والذي يسمى **هبوط الجهد الامامى** ، أن



[١]



[ب]

شكل ٨ - ١ [١] رمز الدائرة الاصطلاحي لدايود [ب] خواص الدايود الكهربائية

يقع فى المدى ما بين 0.3 الى 0.8 فولت بالنسبة لدايود الجرماتيوم، وما بين 0.6 الى 2 فولت بالنسبة لدايود السليكون . وفى حالة الانحياز العكسى للدايود [أى أن الانود يكون سالبا بالنسبة الى الكاثود] يصبح تشغيل النبطية على المنوال العائق العكسى ، وعندئذ تبلغ قيمة تيار التسرب بين الانود والكاثود ما بين عدة وحدات من النانو أمبير ($\ln A = 10 A$) فى دايود التيار المنخفض الى عدة وحدات من الميلي أمبير ($1 mA = 10 A$) فى دايود القدرة ذى التيار المرتفع . وتكون قيم هذه التيارات عادة صغيرة جدا اذا قورنت بالقيم الممتنة للتيار الامامى للدايود . فعند درجة حرارة محيط معطاة ، تبقى قيمة تيار التسرب ثابتة بغض النظر عن قيمة الجهد حتى نصل الى قيمة معينة تعرف ب**جهد الانهيار** [انظر شكل ٨ - ١] ب [ب] .

فعند هذا الجهد ، تزداد قيمة التيار العكسي بسرعة ، ويقال ان الداىود يعمل على منوال الانهيار العكسي وتزيد قيمة جهد الانهيار العكسي عادة عن 600 فولت فى حالة الداىود المستعمل فى تقويم القدرة . وفى مثل هذه الحالة ، اذا ما مر تيار عكسي قيمته ، مثلا ، 0.1 امبير . فسوف يؤدى الامر الى قدرة مبددة فى النبطه اكثر من $60W \times 0.1 \times 600$. فاذا لم تبدد هذه القدرة للجو المحيط ، فان درجة حرارة النبطه قد ترتفع الى الحد الذى تصبح به غير صالحة كمقوم . وقد تم تصميم انواع معينة من الداىود تعرف باسم داىود زينار [انظر جزء ٨ - ١٠] لتشغل على منوال الانهيار العكسي .

٨ - ٢ انواع الداىود

تشمل الانواع الاساسية المستعملة للداىود

[ا] داىود اشباه الموصلات

[ب] داىود اكسيد النحاس

[ج] داىود السيلينيوم

[د] صمامات الداىود الحرارية

[هـ] صمامات مملوءة بالغاز وصمامات مملوءة بالبخار

وفى الاعم ، فان اكثر الانواع شيوعا هو داىود اشباه الموصلات ويصنع عادة من السليكون او الجرمانيوم . وتستعمل المادة الاولى [السليكون] اكثر فى الاغراض العامة وفى تطبيقات القدرة المرتفعة ، بينما يكتسب الجرمانيوم بعض المميزات فى استخدامات الاتصالات الكهربائية . ويستعمل داىود اكسيد النحاس مع بعض اجهزة القياس الكهربائية وتستعمل بعض مقومات [موحداث] السيلينيوم فى استخدامات الجهد المنخفض والتيار المرتفع . وقد استخدمت منذ مدة صمامات الداىود الحرارية فى الصناعة وفى المعدات السمعية ولكن بطل استعمالها بدرجة كبيرة . وكانت النباط المتلثة بالبخار مثل مقومات التجمع الزئبقى تستعمل بكثرة فى الصناعة ولكن الاتجاه السائد حاليا هو سرعة استبدالها بنباط اشباه الموصلات . ويستمر استخدام نباط التجمع الزئبقى فى التطبيقات الخاصة مثل اللحام بالتوس الكهربى .

٨ - ٣ وصلات اشباه الموصلات الثنائية (وحدات الداىود)

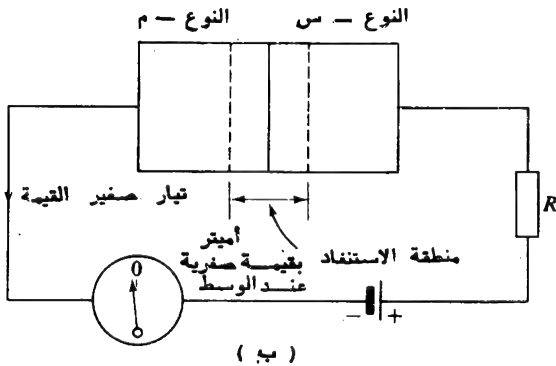
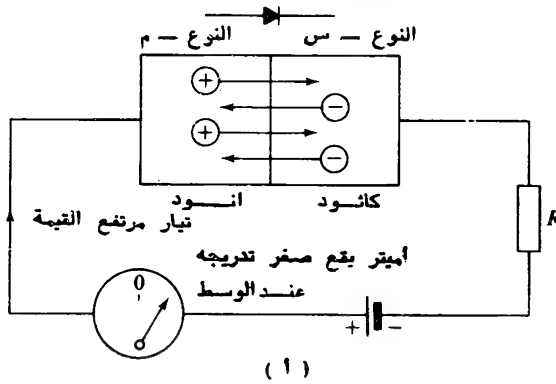
تتكون الوصلة م - س (p-n) للداىود من بلورة واحدة من مادة شبه موصلة كان قد استثنى فيها شوائب اثناء تصنيعها لتعطى النوع الموجب للانود والنوع السالب (n-type) للكاثود .

ولقد وجد ان تيارا كبيرا يمر فى الدائرة اذا ما تم توصيل الداىود كما فى شكل ٨ - ٢ [ا] ، حيث يتم توصيل الانود من النوع الموجب [م] بالقطب

الموجب للبطارية ، بينما يوصل الكاثود وهو من النوع السالب [س] ،
 بالقطب السالب للبطارية . والسبب في ذلك هو ان غالبية حاملات الشحنة
 [انظر الفصل الاول] في النوع الموجب [م] للمادة عبارة عن فجوات ،
 بينما هي عبارة عن الكترونات في النوع السالب [س] للمادة . وهكذا ،
 اذا ما تم توصيل جزء البلورة [م] ، للدايود بالقطب الموجب للمصدر ، فان
 فجوات البلورة الموجبة تعبر الوصلة منجذبة نحو القطب السالب عن طريق
 تدرج الجهد عبر النبطه . وبالمثل فان الكترونات البلورة السالبة تعبر
 الوصلة منجذبة نحو القطب الموجب من الدايود وبعبدة .

ومما سبق ، يتضح ان للدايود انحيازاً أمامياً عندما تكون قطبية الانود
 نوع [م] موجبة بالنسبة للكاثود نوع [س] وتمثل المقاومة R المبينة
 في شكل ٨ - ٢ [ا] مقاومة الحمل .

فاذا ما تم عكس قطبية المصدر كما في شكل ٨ - ٢ [ب] فان قيمة التيار
 المار في الدائرة تنخفض الى قيمة صغيرة جداً . وعلى هذا المنوال من
 التشغيل ، فان الكترونات البلورة السالبة المتحركة تبتعد عن الوصلة متجهة
 نحو القطب الموجب المتصل بها . وبالمثل ، تنجذب فجوات البلورة الموجبة
 المتحركة بعيداً عن الوصلة متجهة نحو القطب السالب المتصل بالانود .



شكل ٨ - ٢ [ا] دايود أمامي الانحياز [ب] دايود عكس الانحياز

ونتيجة لذلك . يستند جانباً الوصلة [م — س] من حاملات الشحنة ويكونان منطقة عازلة الفاعلية . وهكذا . تتكون **منطقة الاستنفاد** فى منطقة الوصلة عكسية الانحياز . ويتناهى سمك المنطقة المستنفدة فى الصغر بينما يتخذ تدرج الجهد قيمة عالية .

وتؤدى زيادة جهد الانحياز العكسى الى زيادة ضئيلة فى سمك المنطقة المستنفدة بسبب الابتعاد الاكثر للالكترونات والفجوات عن الوصلة . ويبدو دايود الانحياز العكسى بالنسبة للدائرة الخارجية وكأنه مكثف . وتتناقص سعة الدايدود مع ازدياد سمك العازل [او بمعنى آخر ، سمك الطبقة المستنفدة] بحيث تؤدى الزيادة فى الانحياز العكسى الى نقص لسعة الدايدود وتستخدم انواع خاصة من الدايدود ، تعرف باسم دايود الفاركتور ودايدود الفاريكاب [دايود متغير السعة ، على المتوال عكسى الانحياز] فى دوائر الراديو والتليفزيون لضبط تردد الرنين لدوائر الموالفة وذلك بتغير سعة الدايدود بواسطة التحكم فى الجهد .

وستؤدى زيادة الانحياز العكسى فى النهاية الى اقصى قيمة يمكن تقبلها لتدرج الجهد عبر المنطقة المستنفدة لمثل هذه المجموعة من انواع الدايدود . ويعرف هذا الجهد باسم **الجهد العكسى مكرر الذروة V_{RRM}** .

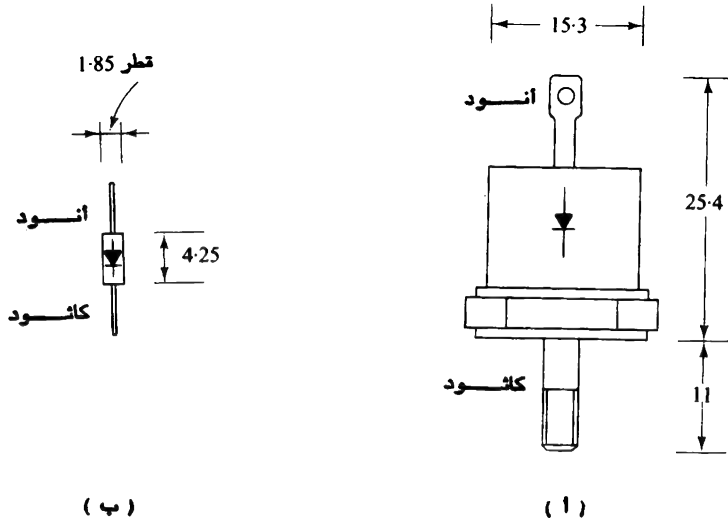
وسوف تؤدى أى زيادة اخرى للجهد العكسى بالقطع الى انهيار عكسى ، وذلك عندما يبدأ الدايدود فى التوصيل مرة اخرى .

ويعطى الجدول ٨ — ١ بعض التفصيلات من قوائم مواصفات نوعين اثنين من انواع الدايدود : النوع الاول منه يسمى BYX 51-1200 وهو مقوم سليكونى لاستخدامات نظم القوى الكهربائية والنوع الثانى منه يسمى BA 317 وهو دايود سليكونى مسطح فوقى محورى Planar epitaxial

جدول ٨ — ١ مقننات موحدة الدايدود المبينة فى شكل ٨ — ٢

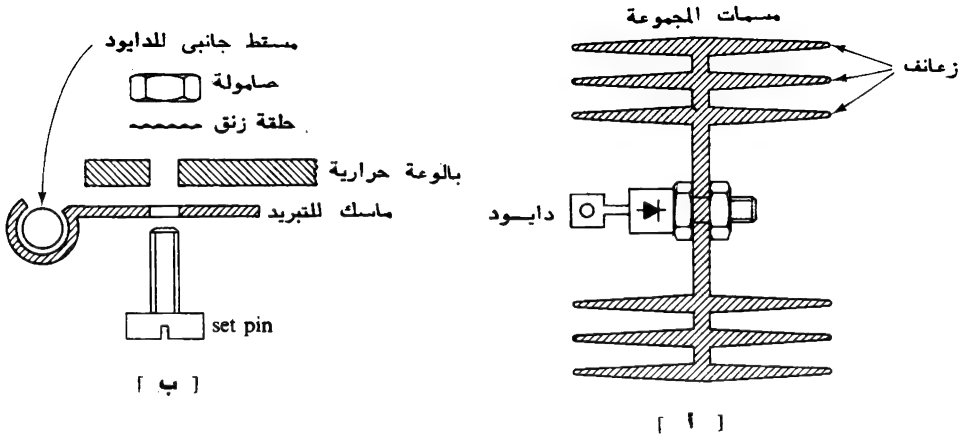
النوع	تقنين القيمة المتوسطة للتيار [بالامبير]	تقنين الجهد العكسى [بالفولت]	اقصى تغير مفاجىء متكرر للتيار [بالامبير]	هبوط الجهد الامامى عند التيار المقنن [بالامبير]	اقصى درجة حرارة تشغيل
BYX52-1200	40	800	450	1.4	175
BA317	0.1	30	0.225	1.1	200

ذو قدرة منخفضة ويستخدم للاغراض العامة . وسيوضح فى الفصل الثانى عشر معنى « سطح فوقى محورى » . ويعطى شكل ٨ — ٣ بيائين اجمالين بالابعاد لهذين النوعين من الدايدود .



شكل ٨ - ٢ بيانات إجمالية بالأبعاد: [١] دايود BYX 52-1200
[٢] دايود BA 317 [جميع الأبعاد بالمليمترات]

ويتضح من الجدول ٨ - ١ أن قدرة المقوم BXY 52 المبددة عندما يمر تياره المقنن تبلغ $56W = 40 \times 1.4$. ولكي تبدد هذه الكمية من القدرة ، ينبغي تركيب الدايود فوق بالوعة حرارية مدهونة باللون الأسود ، وتصنع أما من النحاس أو الألومنيوم ، وقد تستخدم أيضا مروحة للتبريد . ويوضح شكل ٨ - ٤ [١] مقطعاً في بالوعة حرارية تستخدم مع دايود قدرة ، حيث تزيد الزعانف من المساحة المتاحة للاشعاع الحراري . فإذا تطلب الأمر بالوعة حرارية لدايود صغير ، فقد تتخذ هذه البالوعة ، ببساطة ، شكل



شكل ٨ - ٤ طرق تركيب وحدات الدايود فوق البالوعات الحرارية

ماسك للتبريد ، بحيث يقبض حول الدايود بإحكام كما هو موضح بشكل ٨ - ٤ [٢] . وقد يكتفى بماسك التبريد نفسه لتوفير درجة التبريد المناسبة ،

أما إذا لم يف بالغرض ، فانه يربط بمسار الى بالوعة حرارية قد تكون للبساطة شاسيه القهيزات .

وهناك نقطة جديرة بالملاحظة عند القيام بلحام الدايد وبعض نبائط اشباه الموصلات فى الدوائر الالكترونية ، وهى اننا ننصح بتقليل كمية الحرارة الموصلة الى الوصلة بواسطة الاسلاك . وتستخدم احدى الطرق المتبعة لهذا الغرض ، **قنطرة حرارية** قد تكون ببساطة ، عبارة عن مشبك تمساح او اى موصل آخر مناسب للحرارة يشبك بصفة مؤقتة بالسلك .

٨ - ٤ دراسة خواص وصلات الدايد بالنسبة للتأثيرات الحرارية

تزداد خاصية الموصلية الذاتية لنبيطة اشباه الموصلات مع تزايد درجة حرارة التشغيل | انظر الفصل الاول | . ويوضح شكل ٨ - ٥ التغير فى خواص وصلات الدايد نتيجة لزيادة درجة الحرارة . وقد اظهرت الخاصية المناظرة لدرجة حرارة محيطه مقدارها 25°C بالخط الممتلىء ، وبمقياس رسم مقدر بالامبير لتيار الانحياز الامامى اما بالنسبة للانحياز العكسى فقد قدر مقياس الرسم بالميكروامبير .

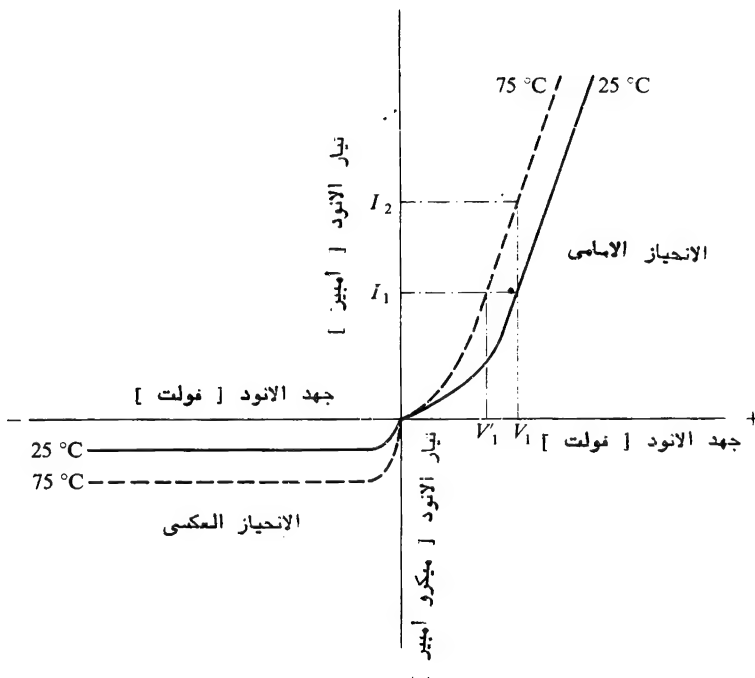
والان ، لنأخذ فى الاعتبار ، اولاً ، تغير ربع الشكل امامى الانحياز . فعند تزايد ما لدرجة الحرارة ، بالنسبة لقيمة معطاة من الهبوط الامامى للجهد ، يؤدى تزايد انسحاب التيار ، نتيجة ازدياد الموصلية الذاتية ، الى زيادة تيار الدايد . وهكذا ، فانه بالنسبة لهبوط امامى للجهد مقداره V_1 ، ينساب تيار قيمته I_1 عند درجة حرارة 25°C وتيار قيمته I_2 عند درجة حرارة 75°C . وبطريقة اخرى ، فانه بالنسبة لقيمة معطاة من تيار الدايد مقداره I_1 ، مثلاً ، تكون قيمة هبوط الجهد عبر الدايد V_1 عند درجة حرارة 25°C وتبلغ V'_1 عند درجة حرارة 75°C . وبمعنى آخر ، يتناقص الهبوط الامامى للجهد ، لكل قيمة معطاة من تيار الحمل ، مع تزايد درجة الحرارة .

أما بالنسبة لربع شكل ٨ - ٥ عكسى الانحياز ، فان انطلاق حاملات الشحنة يزداد مع تزايد درجات الحرارة ، مما يؤدى الى زيادة التسرب .

٨ - ٥ دوائر المقوم احادى الطور

تستخدم دوائر متنوعة لتقويم الجهود المترددة اى لتحويل الموجة المترددة لافرى موحدة الاتجاه او لاشارة من التيار المستمر . وسنصف فيما يلى عدداً من الدوائر الاكثر اهمية .

فمن الممكن استعمال دائرة الموجة النصفية احادية الطور ، شكل ٨ - ٦ [١] . مباشرة بين مصدر التيار المتردد وحمل التيار المستمر بدون استخدام اى محول كهربائى . يوصل الدايد طالمآ أنوده موجب بالنسبة



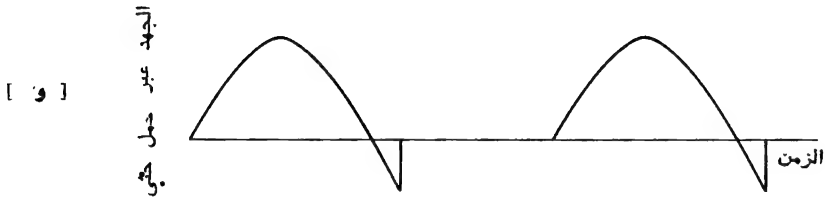
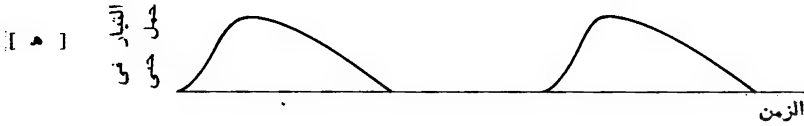
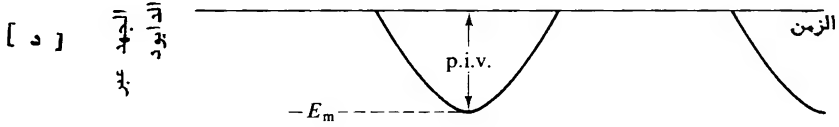
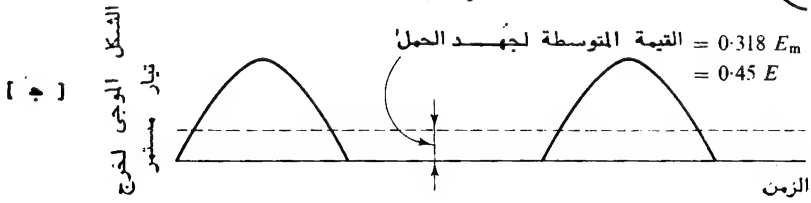
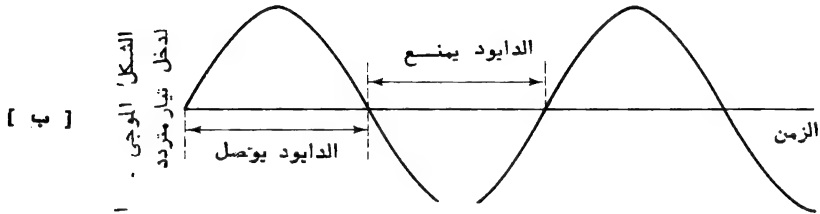
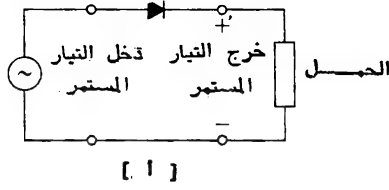
شكل ٨ - ٥ تأثيرات الحرارة على خواص وصلة الداىود

لكاثود ، بينما يمنع سريان التيار عندما يكون الانود سالبا بالنسبة للكاثود ، كما هو موضح فى شكل ٨ - ٦ [ج] و [د] . بذلك يكون الشكل الموجى لتيار الحمل عبارة عن نبضات موحدة الاتجاه تناسب خلال النصف الموجب لموجات مصدر التيار المتردد . فى حالة ما اذا كان الحمل عبارة عن مقاومة فان تيار وجهد الحمل يكون لهما نفس الشكل الموجى مثل النصف الموجب لدورة موجات مصدر التيار المتردد .

جهد الذروة العكسى [ج.ذ.ع] المطبق على الداىود يحدث عند ذروة النصف الموجب لدورة موجات جهد المصدر ، وفى حالة وجود مصدر موجات جيبية يكون جهد الذروة العكسى هو

$$\sqrt{2}E = E_m = \text{ج.ذ.ع}$$

حيث E هو اقصى قيمة للشكل الموجى للمصدر و E هى ج.م.م القيمة . فى حالة وجود مصدر موجات جيبية لـ ج.م.م القيمة يساوى 240V فان ج.ذ.ع الدورى يكون 340V ، بينما يكون 622V فى حالة مصدر له ج.م.م يساوى 440V .



شكل ٨ - ٦ دائرة مقوم نصف الموجة أحادية الطور

[وكقاعدة عامة مبسطة ، يمكن احتساب القيمة الذروة للموجة الجيبية برقم ينقص قليلا عن 1.5 مرة ج.م.م القيمة] وعلاوة على ذلك ، تضاف بصفة دورية تغيرات مفاجئة لجهد عابر الى الجهد الاصلى للمصدر . ومن الممكن ان تحدث هذه الدفوعات العابرة من عدة مصادر منها :

[١] فصل حمل التيار المستمر عند خرج المقوم .

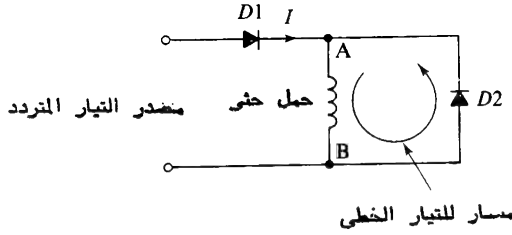
[ب] فصل احمال حثية موصلة على التوازي مع دخل الدائرة .

[ج] تحميل المحول او قطع تيار الحمل بالنسبة للحالات التى تغذى فيها المقاومات عن طريق المحول الكهربائى .

ولكى نتعامل مع هذه التغيرات العابرة ، ينبغى أن يزداد تقنين جهد الدايدود العكسى عن E_m . وكثاعدة عامة ، ينبغى تقنين جهد الدايدود العكسى للمقوم المبين فى شكل ٨ - ٦ [١] بما لا تقل قيمته عن ضعف ج.م.م جهد المصدر ، أى ما قيمته 480V لمصدر الجهد 240V وما قيمته 880V لمصدر الجهد 440V .

وغالبا ما تستخدم دوائر المقومات مع احمال حثية ، مثل المغناطيسيات والحركات الكهربائية ، ويبين شكل ٨ - ٦ [هـ] ، [و] تأثير الحمل الحثى على الاشكال الموجية لكل من الجهد والتيار . فعندما تبدأ فترة توصيل الدايدود ، فى حالة الحمل الحثى ، تسبب الق.د.ك. المعارضة من ملف الحثية بطءا فقط عند بداية فترة تزايد التيار ، لتعطى له مظهر الانكفاء المألوف والمبين فى شكل ٨ - ٦ [هـ] . ونظرا لما يخزنه الحمل الحثى من طاقة ، فلن تكون قيمة التيار قد وصلت الى الصفر ، عند نهاية النصف الموجب للدورة حيث تكون قيمة جهد المصدر قد تناقصت للصفر . والنتيجة ، هى أن الق.د.ك. المعارضة بالملف ، تدفع الدايدود لكى يستمر فى التوصيل خلال النصف السالب لدورة موجة الجهد وحتى تكون قيمة التيار قد تناقصت الى الصفر . ويوضح شكل ٨ - ٦ [و] الشكل الموجى للجهد عبر الحمل .

ومن الجائز ان يترتب عن التحميل الحثى لبعض الدوائر نوعا من المشاكل ، بينما لا تثار أية مشكلة بالنسبة لبعض الانواع الاخرى من الدوائر [انظر ، على سبيل المثال ، الفصل الخامس عشر] . ويمكن فى بعض الاحيان تبني طريقة لمنع توصيل دايدود المقوم الرئيسى خلال النصف السالب من دورة موجة الجهد باستخدام دايدود **الحداقة** ، D_2 كما هو موضح بشكل ٨ - ٧ . ففى أثناء النصف الموجب من دورة موجة جهد المصدر ، يكون دايدود المقوم D_1 فى حالة توصيل ، ويمد الطاقة للحمل فى نفس الوقت الذى يكون فيه دايدود D_2 عكسى الانحياز . وفى خلال الجزء المبكر من النصف السالب لدورة جهد المصدر ، حيث لا يزال التيار مارا بالملف الحثى ، تؤدي الق.د.ك. المعارضة الى أن تصبح نقطة A سالبة بالنسبة الى نقطة B . وهكذا تنشأ حالة يصبح بها المقوم D_2 أمامى الانحياز . فبهىء مسارا لانسباب تيار الطاقة المختزنة فى الملف الحثى . وعندما يوصل المقوم D_2 ،



شكل ٨ - ٧ استخدام دايود الحداثة D2 مع حمل حتى

فلن يزيد فرق الجهد بين نقطتي A و B عن 1 الى 1.5 فولت ، ونعني بهذا هبوط الجهد الامامى عبر D2 ، بحيث ينقطع مرور التيار خلال D1 حينما تزيد القيمة السالبة لجهد المصدر عن هذه القيمة . ويوصف المقوم D2 ايضا بدايود كبت الشرارة و احيانا دايود توحيد الاتجاه .

وطبقا لما عرض سابقا ، فان دائرة مقوم نصف الموجة تعمل على الانتفاع بنصف دورة موجة المصدر فقط . أما دوائر الموجة الكاملة كما فى شكل ٨ - ٨ فانها تعطى خرجا من التيار المستمر خلال كلا النصفين من دورة موجة المصدر .

وبالنسبة للدائرة ذات نقطة التفرع المتوسطة او مزدوجة الطور الموضحة فى شكل ٨ - ٨ [١] ، فانها تغذى مقومات الدايود عن طريق محول كهربائى ذى نقطة تفرع متوسطة . ويتم توصيل الملفات الثانوية بحيث يصبح أنود D2 سالبا ، عندما يكون أنود D1 موجبا بالنسبة الى نقطة التفرع المتوسطة والعكس بالعكس . فمثلا ، خلال النصف الموجب لدورة جهد المصدر ، يوصل الدايسود D1 ، بينما يكون الدايسود D2 مانعا وبهذه الكيفية ، تحافظ نقطة A على أن تظل اعلى جهدا من نقطة B خلال كل نصف دورة . وتكون الحصلة النهائية هى مضاعفة خرج الجهد الفعال اذا ما قورن بحالة الموجة النصفية [بافتراض أن نسبة ملفات المحول هى $(1 + 1) : 1$] .

وهناك عدة عيوب للمحولات الكهربائية ، منها تكلفتها وحجمها ووزنها بالإضافة الى القدرة المفقودة بها . لذا ، يلجأ الى الدائرة ذات نقطة التفرع المتوسطة فى الاحوال التى يتحتم أن يغذى بها الحمل من جهد لانهطى او اينما يتحتم عزله كهربائيا عن مصدر القدرة .

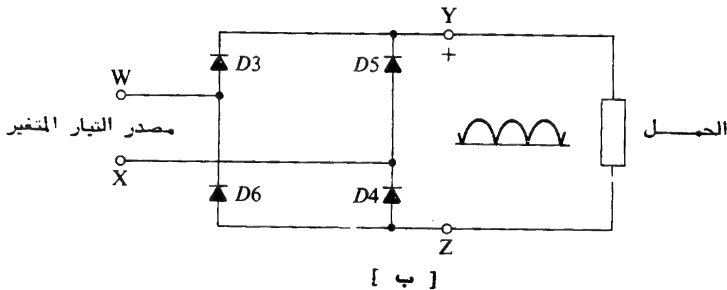
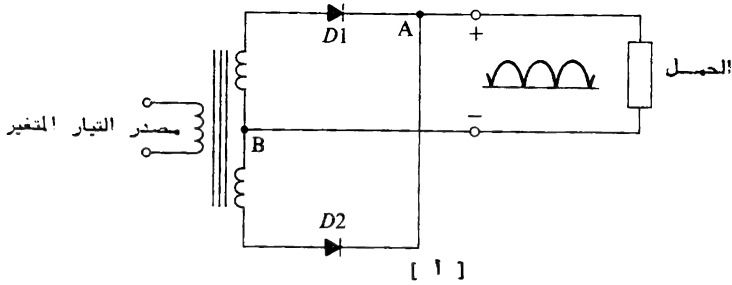
وعندما يصل جهد الخرج فى شكل ٨ - ٨ [١] عند قيمة الذروة ويكون الدايود D1 فى حالة توصيل ، على سبيل المثال ، فان جهد أنود D2 يكون عند قيمة الذروة السالبة . وهكذا يتعرض الدايود D2 لجهد ذروة عكسى تعادل قيمته ضعف القيمة الذروية لجهد الملف الثانوى ، أى 2.828 مرة ضعف ج.م.م قيمة الجهد الثانوى . ويتعرض ايضا الدايود D1 لنفس القيمة من [ج.ذ.ع] خلال نصف الدورة التالى .

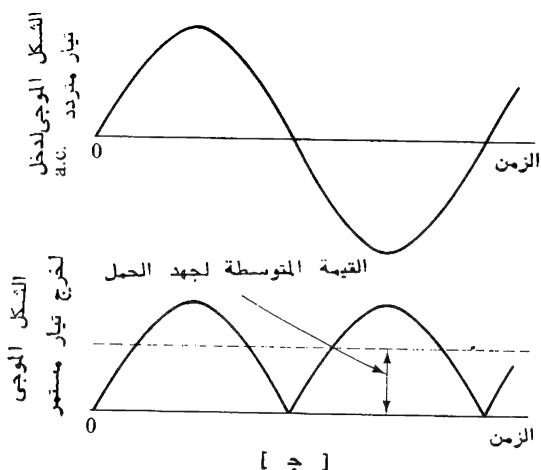
وكقاعدة عامة وبسيطة ، ينبغي أن يعادل الجهد المقنن لمقومات الدايمود ، المستخدمة فى الدوائر ذات تقط التفرع المتوسطة ، ما يعادل حوالى أربعة أضعاف ج.م.م . قيمة جهد المصدر .

ويوضح شكل ٨ - ٨ | ج | الاشكال الموجبة لكل من جهدى الدخلى والخارج [بفرض أن الحمل عبارة عن مقاومة] .

وتعتبر دائرة المقوم القطرية ذات الطور الواحد ، شكل ٨ - ٨ | ب | أكثر شيوعا ، ويعزى تفضيلها الى انها لا تتطلب محولا كهربائيا . فعندما تكون النقطة W موجبة بالنسبة للنقطة X يصبح كل من وحدتى الدايمود D3 و D4 امامية الانحياز وتحملان التيار ، بينما يصبح كل من D5 و D6 عكسى الانحياز . فى خلال نصف الدورة هذه ينساب التيار من Y الى Z خلال الحمل . وعندما تكون النقطة W سالبة بالنسبة للنقطة X فان كل من D5 و D6 يكون امامى الانحياز ، بينما يكون D3 و D4 عكسى الانحياز ، وهكذا ينساب التيار مرة اخرى فى الدائرة الخارجية من Y الى Z . وتتساوى قيمة جهد الذروة العكسى المسلط عبر مقومات الدايمود فى دائرة قنطرية مع القيمة الذروية لجهد المصدر التى تبلغ 1.414 مرة قيمة ج.م.م جهد المصدر فى حالة ما اذا كانت موجاته جيبيه .

هذا وقد أدرج فى الجدول ٨ - ٢ أهم بارامترات زوائى المقومات احادية الطور حيث تمثل E_m القيمة القصوى للجهد المغذى للمقوم ، E هى قيمة ج.م.م و f هى تردد المصدر بالهرتز . وسوف يدرك القارئ ان التردد الموجى الرئيسى هو $2f$ لكل من دائرتى الموجة الكاملة .





شكل ٨ - ٨ دوائر مقويات الموجة الكاملة أحادية الطور : أ ذات نقطة تفرع متوسطة أو ثنائية الطور ب | قطرية ج | مبين الأشكال الموجية لجهد الدخل والخرج عندما يكون الحمل عبارة عن مقاومة

ويمكن استكشاف السبب في ذلك إذا ما وضعنا الشكل الموجي لخرج الدوائر ، والموضح في شكل ٨ - ٨ ج | أ تحت الاعتبار . فالزمن الذي تستغرقه موجة جهد الخرج خلال دورة كاملة إنما يبلغ نصف زمن موجة الدخل ، ولذا ، فإن تردد المركبات المتفرقة في الشكل الموجي للخرج | التردد الموجي | يساوى ضعف تردد المصدر . وتبلغ قيمة التردد الموجي الرئيسي 100 هرتز ، بالنسبة لمصدر تردده 50 هرتز .

جدول ٨ - ٢ المتغيرات الهامة لدوائر المقوم احادى الطور

نوع الدائرة	القيمة المتوسطة لجهد الحمل	التردد الموجي الرئيسي	التموج النسبي
الموجة النصفية	$0.318E_m = 0.45E$	f	1.11
الموجة الكاملة			
مع نقطة تفرع متوسطة	$0.636E_m = 0.9E$	$2 f$	0.472
قطرية - موجة كاملة	$0.636E_m = 0.9E$	$2 f$	0.472

وتحسب القيم في العمود تحت عنوان : « التموج النسبي » من الجدول ٨ - ٢ بهذه المعادلة

$$\frac{\text{ج.م.م. قيمة الجهد الموجي الرئيسي}}{\text{التموج النسبي}} = \text{متوسط جهد الحمل}$$

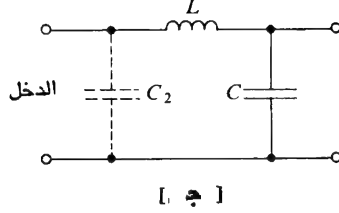
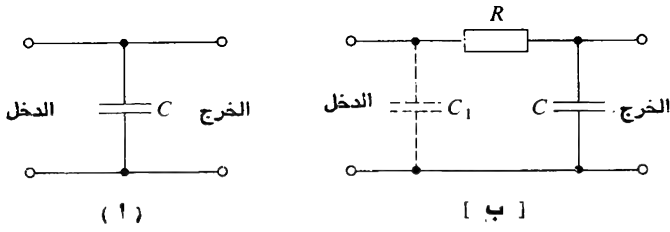
وهناك شكل شائع من نموذج لقنطرة المقوم احادي الطور تسمى كبسولة البلاستيك . وهو عبارة عن دائرة قنطرية كاملة لمقوم ومغلف بغلاف على هيئة مستطيل من البلاستيك ، ويخرج منه اربعة اسلاك يخصص سلكان منها لمصدر جهد التيار المتردد ويخصص السلكان الاخران لخرج التيار المستمر ، ويصل التيار المقنن الى حوالى 10 او 15 امبير لبعض النماذج فاذا زادت قيمة التيار عن هذه القيمة ، تستخدم مقومات الدايمود قنطرية التوصيل بعد تركيبها فوق بالوعة حرارية . ومن الممكن ايضا زيادة امكانيات بعض انواع نماذج كبسولات البلاستيك للتداول مع قدرات اكبر بتركيبها فوق بالوعة حرارية .

٨ - ٦ مرشحات الموجات

مرشحات الموجات وتسمى احيانا **دوائر التسوية** هي صورة للدائرة الكهربائية المتكاملة والتي تستخدم لتقليل موجات الجهد عند خرج دائرة المقوم ، الى ادنى حد ممكن . ويوضح شكل ٨ - ٩ ثلاثة اشكال اساسية لمثل هذه الدوائر . وتتطلب هذه الدوائر مكثفات زائدة السعة فعليا ؟ وتقع عادة في المدى من عشرة ميكرو فراد الى بضعة آلاف من الميكرو فراد .

ويعتبر **المرشح السعوى** ، شكل ٨ - ٩ | ا | بسيطا وريخيا ويستخدم بكثرة عندما تكون موجات الجهد صغيرة فعلا ، ولكي يتم تشغيل المرشح على الوجه الصحيح ، ينبغي أن تقل مفاعلة المكثف عند اصغر تردد موجي عن حوالى عشر مقاومة خرج مصدر القدرة . وهناك عيب يتعلق بالمرشح السعوى ، في حالة استخدامه مع دايمود اشباه الموصلات ، اذ انه يسحب تيارا على هيئة نبضات متتالية عالية القيمة اذا ما قورنت مع القيمة المتوسطة لتيار خرج الدائرة . وهذا عائد الى اندفاع تيار شحن المكثف خلال فترة زمنية صغيرة من كل دورة . وهكذا تتعرض اجهزة اشباه الموصلات للتلف نتيجة انسياب مثل هذا النوع من التيار .

ويوضح شكل ٨ - ٩ | ب | بالخطوط المتثلثة ترتيبية شائعة **للمرشح ذي المكثف والمقاومة (RC)** . فإضافة المقاومة R على التوالي تحد من قيمة تيار الشحن الذى يسحبه المكثف وبذلك يمكن التغلب على عيب المرشح السعوى البسيط . ويمكن الوصول لمستوى احسن من الترشيح اذا ما تم توصيل المكثف C₁ بين طرفي دخل المرشح ، لكن هناك عيبا مترتبا على



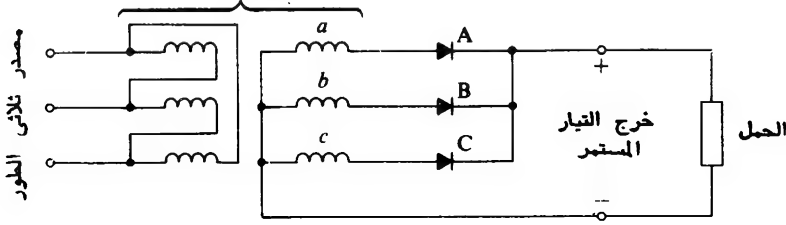
شكل ٨ - ٩ دوائر المرشح الموجي الرئيسية

هذا التعديل يتمثل في زيادة قيمة تيار الشحن الذي يسحبه هذا المكثف من المصدر . ومن عيوب المرشح الاساسي ذى المكثف والمقاومة (RC) هو ما يحدث من هبوط للجهد عبر المقاومة عند مرور تيار الحمل بها ، مما يؤدي الى انقاص جهد الخرج .

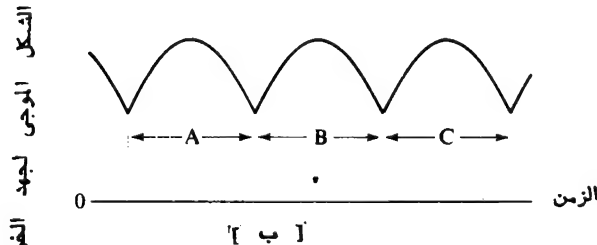
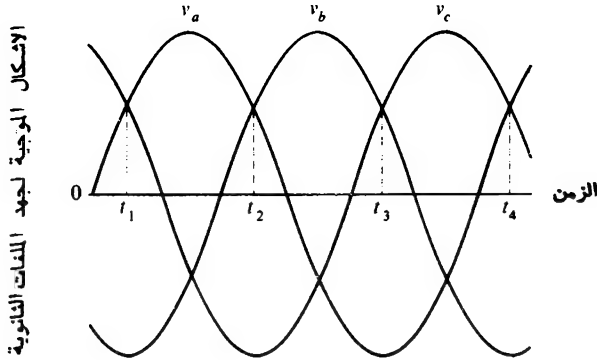
ومن الممكن الوصول الى مستوى احسن للترشيح باستخدام المرشح ذى المحاثة والمكثف LC . ويوضح شكل ٨ - ٩ | ج | بالخطوط المثلثة شكلا اساسيا لدائرة **مرشح الملف الخائق مع الدخل** ، والذي يضم محاثة L ومكثف C . ومن اجل الوصول الى مستوى من التشغيل على درجة مرضية ، فمن الضروري أن لايسمح للتيار المار خلال المحاثة بالهبوط الى الصفر . ولكي يكفل تحقيق هذا الشرط ، حتى في احوال الحمل الخفيف ، فقد يكون من الضروري القيام بتوصيل حمل دمية أو **مقاوم استنزاف** بين طرفى الخرج . كما ينبغى أن يقل تردد رنين الدائرة LC كثيرا عن تردد أدنى توافقيات الشكل الموجي للخرج . فاذا كانت قيمة تردد المصدر المغذى للمقوم تساوى 50 هرتز ، وتم استخدام مقوم الموجة الكاملة ، فانه من اللازم أن يقل تردد الرنين للدائرة LC كثيرا عن 100 هرتز . وعلى سبيل الاسترشاد الاستقرابى ، فان حاصل ضرب L مع C | حيث تقدر وحدات L بالهنرى ووحدات C بالفاراد | لمصادر ذات ترددات 50 أو 60 هرتز | ينبغى أن يساوى أو يزيد عن 0.0001 وتقع قيمة المحاثة ، المستخدمة بصفة عامة من مرشحات LC لمصادر القدرة الالكترونية ، فى المدى من 3 الى 30 هنرى . ويزداد تحسن مستوى الترشيح باستخدام مكثف اضافى ، C_2 ، عند الدخل كما هو مبين بالشكل . وتعرف الدوائر التى تحتوى L ، C ، C_2 ، باسم **مرشحات π** [تنطق باى] حيث أن ترتيب الدائرة تشابه شكل هذا الحرف الابجدى اليونانى . وتجدر الإشارة الى ان استخدام المحاثة انما يعنى ضخامة وثقلا وتكلفة للدائرة اذا ما قورنت مع الانواع الاخرى .

٨-٧ دوائر المقومات ممتدة الطور

تضم دائرة مقومات الموجة النصفية الثلاثية الطور ، كما فى شكل ٨ - ١٠ [١] ثلاثة دوائر أحادية الطور لمقومات الموجة النصفية . ويتضح أن الدايود A يقوم بتوصيل التيار للحمل كلما كان جهد الانود المرتبط به أعلى من جهد أى من الخطين الآخرين . وهكذا يوصل الدايود A خلال الفترة الزمنية t_1 الى t_2 [انظر شكل ٨ - ١٠ [ب]] عندما يكون v_a أعلى جهدا من أى من v_b أو v_c . وخلال الفترة الزمنية t_2 الى t_3 ، يزداد الجهد v_b عن أى من v_a أو v_c ، وينقل أو يتبادل تيار محول تلقائيا - نجمة .

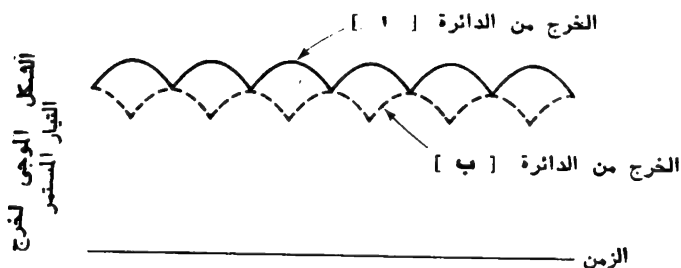
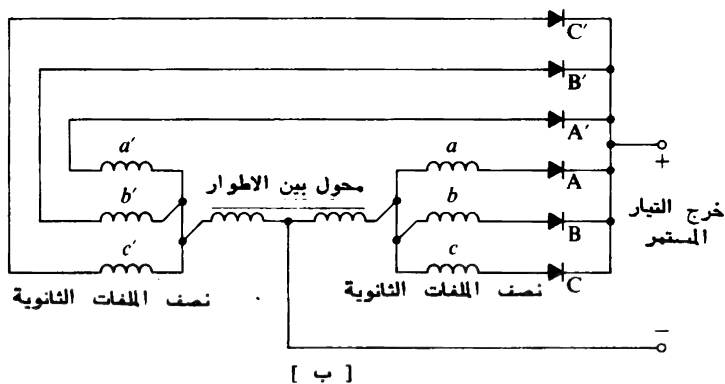
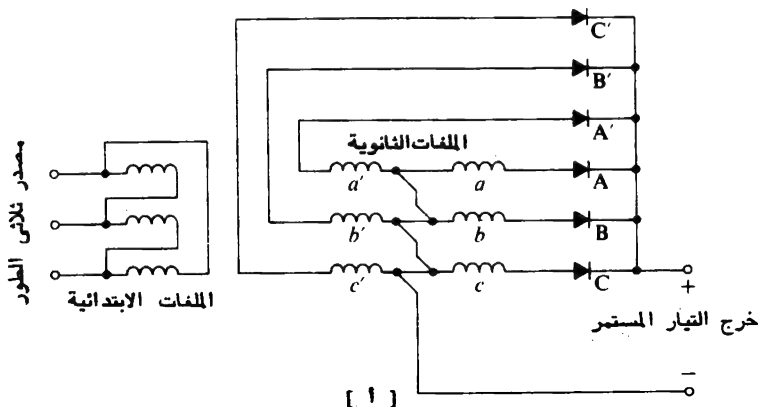


[١]



الحمل الى الدايدود B . وبالمثل : يوصل الدايدود C تيار الحمل خلال الفترة الزمنية t_3 الى t_4 . وهكذا ، يكون الغلاف العلوى للاشكال الموجية للتيار المتردد ، الشكل الموجى لخرج التيار المستمر ، انظر شكل ٨ - ١٠ [١] .

ويقال ان دائرة الموجة النصفية تتبع منوال التشغيل المفرد ، بالنظر الى ان دايدودا واحدا فقط هو الذى يقوم بتوصيل تيار الحمل خلال اى من الفترات الزمنية المذكورة .



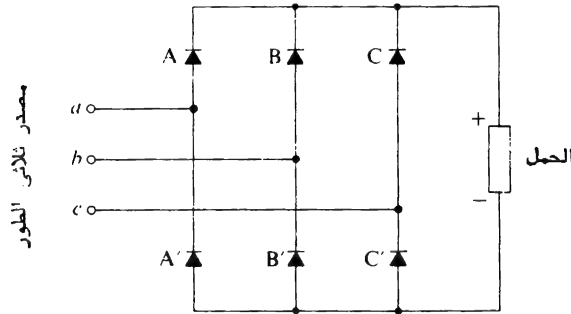
شكل ٨ - ١١ [١] الدائرة ثلاثية الطور ذات نقاط تقعر المتوسطة [ب] توصيلة التجهة المزدوجة ، [ج] الاشكال الموجية لخرج الجهد .

وخلال لحظة الزمن التى ينتقل التيار خلالها من دايود إلى دايود آخر فان كليهما يقوم بالتوصيل فى آن واحد . ويعرف هذا **بالتراكب** .

ويستخدم مقوم الموجة الكاملة ثلاثى الطور والموضح فى شكل ٨ - ١١ [١] محولا كهربائيا ثلاثى الطور بملفات ثانوية ذات نقط تقعر متوسطة . فمع التوصيلات الموضحة ، توصل مقومات الدايدود ابتداء من A ، C' ، B ، A' ، C ، B' . بالتتابع . ويتبع الشكل الموجى لجهد الخرج ذى التيار المستمر غلاف الشكل الموجى لجهد الملفات الثانوية (أنظر شكل ٨ - ١١ ج |) . ولنسوف يلاحظ القارئ أن الشكل الموجى لجهد الخرج قد أصبح أملس بالمقارنة مع الحالات الأخرى . ونتيجة لذلك . فان الحاجة لن تدعو . فى أحوال كثيرة ، لاستخدام مرشحات موبجية مع مثل هذا النوع من الدوائر البينية فى شكل ٨ - ١١ . ومن الواضح أن الدائرة الموضحة فى شكل ٨ - ١١ [١] تتبع منوال التشغيل المنفرد .

ومن الممكن تحسين الانتفاع بالمحول الكهربائى باستخدام **دائرة النجم المزدوج** ، شكل ٨ - ١١ ب | . وفى هذه الحالة . يتم ربط كل من نصفى الملفات الثانوية كهربائيا مع بعضهما عن طريق **محول بين الاطوار** أو **مفاعل بين الاطوار** ، وهذا المفاعل له نقطة تقعر متوسطة وله قلب حديدى ويسمح محول بين الاطوار لكل من نصفى دائرة المقوم بالعمل كما لو أن كلا منهما معزولا كهربائيا عن الآخر . ونتيجة ذلك . يوصل اثنان من مقومات الدايدود ، واحد من كل دائرة فى نفس الوقت وبالتتابع التالى : مقومى الدايدود A ، C' ، ثم C ، ثم B ، ثم A' ، ثم A ، ثم B' ، ثم C ، ثم B' ، ثم A ، ثم B . ويعرف هذا النظام **بالتشغيل المزدوج** . ويوضح شكل ٨ - ١١ ج | ، بالخطوط المتقطعة الشكل الموجى لجهد خرج هذه الدائرة . وفى ترتيبات أخرى أكثر تعقيدا ، يوصل عدد من المقومات فى نفس الوقت . ويقال انها تعمل على منوال التشغيل **المتعدد** .

ويوضح شكل ٨ - ١٢ دائرة مقوم قنطرية ثلاثية الطور . وتتبع طريقة تشغيل هذه الدائرة ، بصفة عامة ، نفس طريقة الدائرة القنطرية أحادية الطور .



شكل ٨ - ١٢ دائرة مقوم قنطرية ثلاثية الطور

فعندما يزيد جهد الخط a عن جهد أى من الخطين b أو c ، فان دايود A يوصل ويكون كل من مقومى الدايدود B و C عكسى الانحياز . ويرجع التيار الى الخطوط b ، c عن طريق مقومى الدايدود B' ، C' وعندما يزيد جهد الخط b عن جهد أى من الخطين a أو c' يتبادل تيار الحمل للدايدود B .

وقد ادرج فى الجدول ٨ - ٣ المتغيرات الهامة للمقومات التى عرضت عالية ، حيث V_p هى قيمة ج.م.م. الجهد المتردد المسلط بين طرفى المقوم مقاسا بين الطور وسلك التعادل ، و $V_L = \sqrt{3}V_p$

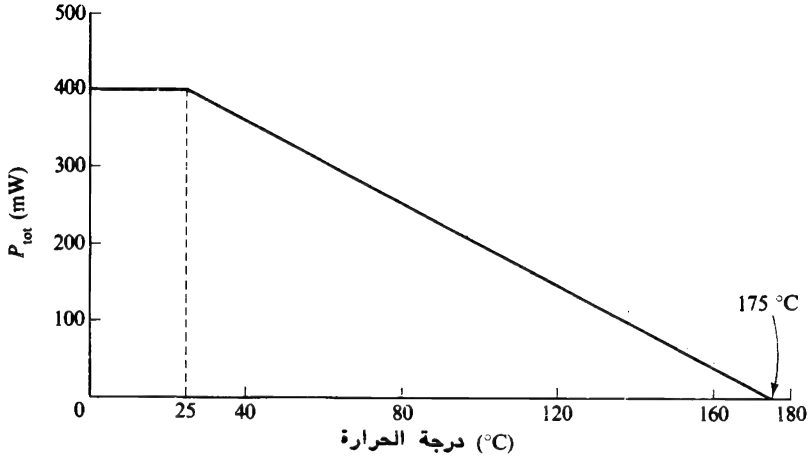
جدول ٨ - ٣ المتغيرات الهامة لحوائر المقوم ثلاثية الطور

نوع الدائرة	القيمة المتوسطة لجهد الحمل	التردد الموجي الرئيسى	التنوع النسبى
الموجة النصفية	1.17 V_p	3f	0.177
نقطة تفرع متوسطة	1.35 V_p	6f	0.04
نجم مزدوج	1.37 V_p	6f	0.04
تنطرية	$1.35 V_L = 2.34 V_p$	6f	0.04

٨-٨ منحنيات العلاقة بين القدرة الكلية المبددة

ودرجة الحرارة المحيطة (Derating Curves)

تبدد الحرارة المتولدة فى الدايدود اثناء التشغيل العادى من الوصلة الثنائية الى الخارج فى الجو المحيط . ويصل الدايدود فى النهاية الى توازن حرارى عندما تزيد درجة حرارة الوصلة عن درجة الحرارة المحيطة بقيمة ثابتة . وعندما تكون درجة الحرارة المحيطة مرتفعة [ونعنى بمرتفعة أن درجة الحرارة تزيد عن 25°C]، فينبغى أن تقل القدرة المبددة من الدايدود ، حتى لا تزيد درجة حرارة الوصلة عن حد الامان . وتعطى المصانع منحنيات تبين العلاقة بين القدرة الكلية P_{tot} المبددة من الجهاز الى الجو المحيط ودرجة الحرارة المحيطة [انظر شكل ٨ - ١٣] .



شكل ٨ - ١٣ منحنى العلاقة بين القدرة الكلية المبددة ودرجة الحرارة المحيطة

ويرتبط المنحنى الموضح عاليه بمجموعة من وحدات الدايود (BAV 19-21) التي تبلغ قدرتها الكلية P_{tot} المقننة ما يعادل 400 mW وبحيث لايسمح لدرجة حرارة الوصلة أن تتعدى 175°C . وتنقص القدرة المبددة للدايود بانتظام من 400 mW الى الصفر عبر مدى لدرجة الحرارة من 25°C الى 175°C ، بمعدل 2.67 mW/°C . وبعد درجة حرارة مقدارها 25°C ، يعرف مقلوب ميل هذا المنحنى بالمقاوم الحراري $R_{th(j-a)}$ الذي يحكم حرارة الوصلة مع درجة الحرارة المحيطة ، حيث

$$R_{th(j-a)} = (175 - 25)°C / (400 - 0) mW = 0.375°C/mW$$

٨ - ٩ وقاية الوصلات الثنائية

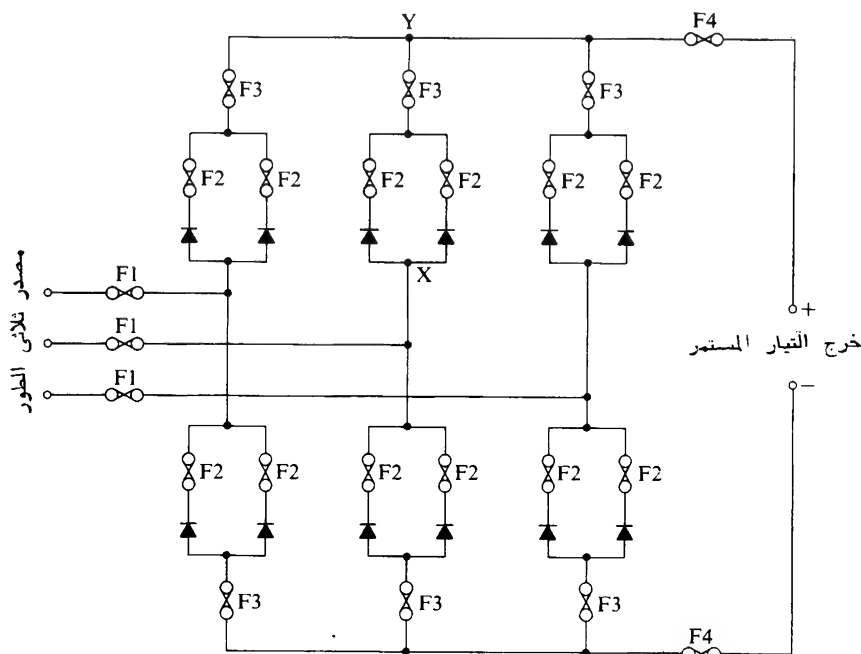
تتعرض وصلات أشباه الموصلات للتلف نتيجة عديد من الاسباب التي سوف نناقش أهمها فيما يلي :

عند توصيل أو فصل المحولات الكهربائية في حالة اللاحمل ، يتغير تيار المغنطة بطريقة مفاجئة ، ويمكن في هذه الحالة أن تتعرض الخطوط لجهود مستحثة مرتفعة القيمة وقد تتعدى قيمة هذا الجهد المستحث ، بالنسبة لاي دايود متصل بالخطوط ، قيمة جهد انهياره العكسي . وحتى يتسنى الحد من قيمة الجهد المستحث ، فمن المعتاد أن يتم توصيل اما دائرة مقاومة ومكثف RC متصلين على التوالي أو مقاوم تابع الجهد بين كل زوج من أسلاك التيار المتردد والتي تغذي دائرة المقوم . وتكون وظيفتها هي امتصاص بعض الطاقة من الجهد العابر .

ومن الضروري أن يتم تصميم نظم المقومات للتشغيل في مدى التغير المعتاد لدرجات الحرارة والمرتبط بالمنشأة . من أجل كل هذا ، ينبغي أن يتم تركيب مقومات الدايود بالطريقة الصحيحة وأن يوفر لها التهوية المناسبة .

وان استلزم الامر تشغيلا فى درجات حرارة متزايدة ، فمن الواجب ان نأخذ
 فى الاعتبار معاملات تبديد القدرة الملائمة طبقا لدرجة الحرارة القائمة .

ومن المعلوم ان أى خلل للمقومات قد يكون مكلفا ، لذا ينبغى توفير نظم
 وقاية شاملة ، ويوضح شكل ٨ - ١٤ ترتيبية متداولة لدائرة قنطرية . ويتكون
 كل ذراع من أذرع القنطرة، من بضع وحدات من الدايدود متصلة على التوازي
 وفى بعض الاحوال ، متصلة على التوالى مع التوازي . ويستلزم الامر
 توفير الوقاية لكل وحدة دايدود حيث أن عطل خلية واحدة من خلايا المقوم
 قد تؤدى الى حدوث قصر مسلط بين الخطوط عندما يبدأ ذراع القنطرة
 التالى فى التوصيل .



شكل ٨ - ١٤ شبكة الوقاية من المصهرات

ومن الجائز ان بدء اخفاق هذه الخلية كان نتيجة جهد زائد او نتيجة لتيار
 زائد . ويمكن توفير وقاية اجمالية باستخدام مصهرات ذات **سعة قطع عالية**
 (HRC) فى المكان F1 كما هو مبين بالشكل ومن ناحية التيار المتردد
 للمقوم .

وعند تشغيل المصهر فى احوال العطل ، فمن المحتمل أن يتولد تغيرا
 لحظيا مفاجئا لجهد يفوق حد الامان لوحدات الدايدود. ولا يتطلب الامر اذن وقاية
 المقوم فقط بل يصبح من المحتم أيضا وقاية كل مجموعة من الخلايا بمصهرات
 بحيث تولد خلال فترة التغير اللحظى طاقة ذات قيمة اقل من تلك التى يمكن
 أن تؤدى الى اخفاق الخلية او مجموعة الخلايا . وتهىء المصهرات F2 ،
 F3 بوضعها فى شكل ٨ - ١٤ مثل هذا النوع من الوقاية . وببذل قدر
 من الاهتمام لوائح خواص هذه المصهرات مع خواص خلايا المقوم .

ومن الممكن أن تعمل جميع المصهرات فى نفس الوقت ، عند حدوث عطل من جهة التيار المستمر للمقوم . لذا يصبح من المحتم توفير نوع من التمييز بين مصهرات HRC فى الوضع F4 وبين المصهرات الاخرى فى الدائرة .

وعلى وجه العموم ، تصنع مرصوصات المقومات لاغراض نظم القوى الكهربائية على هيئة نماذج جاهزة ، وتعتبر الدائرة بين X ، Y فى شكل ٨ - ١٤ نموذجا شائعا .

٨ - ١٠ وحدات دايود زينار

وحدات دايود زينار هى نبائط وصلات [م - س] التى تزيد شوائبها المتزجة عن شوائب الدايدود المعتاد ، بحيث يحدث الانهيار العكسى عند قيم جهد اقل نسبيا . وتتواجد تجاريا وحدات دايود زينار بجهود انهيار عكسية تقع فى المدى بين بضع وحدات وبضع مئات من وحدات الفولت .

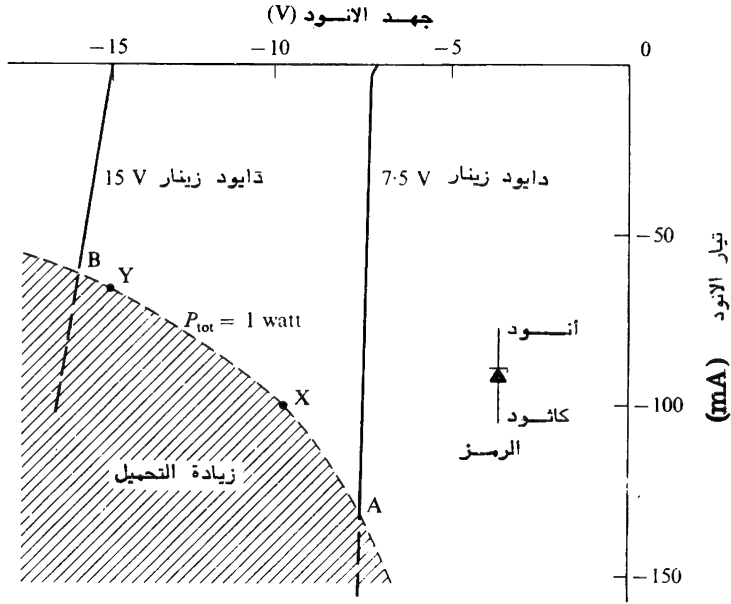
وتناظر خواص الانهيار العكسى الموضحة فى شكل ٨ - ١٥ وحدتى دايود لهما جهد انهيار اسمى قيمته 7.5V ، 15V على التوالى . ويحدد نطاق تشغيل هذه الخواص بالقدرة الاجمالية P_{tot} التى من الممكن ان تبدها النبيلة . فاذا بلغت قيمة هذه القدرة 1W ، فان نطاق التشغيل ينحصر داخل قطع زائد تعطى معادلته كما يلى :

$$P_{tot} = VI = 1W$$

حيث V تمثل الجهد عبر الدايدود ، I تمثل تيار الدايدود . فعند النقطة X من منحنى P_{tot} فان $V = 10V$ ، وتكون قيمة التيار I مساوية لما قيمته 1/10 او 0.1A ، ويمر المنحنى بالنقطة Y حيث $V = 15V$ ، 66.7 mA ، وتحدد القيمة القصوى للتيار الذى يسحبه الدايدود بتقاطع خواص الدايدود مع منحنى P_{tot} بالنسبة للدايدود 7.5V تصبح هذه النقطة عند A حيث $V = 7.75V$ ، $I = 129 \text{ mA}$ ، وبالنسبة للدايدود 15V تصبح هذه النقطة عند B حيث $V = 16V$ ، 62.5 mA ، 1 .

وسوف يدرك القارئ ان الجهد عبر الدايدود يزيد قليلا جدا مع تزايد التيار فى كل حالة وهذا عائد الى مقاومة الدايدود الداخلية .

ويتنوع استخدام وحدات دايود زينار طبقا لمناول الانهيار العكسى ، مع توصيل الكاثود لقطب المصدر الموجب . وتستخدم وحدات الدايدود من هذا النوع كمرجع لمصدر جهد من ضمن التطبيقات الشائعة .



شكل ٨ - ١٥ خواص دايود زينار الانهيارية العمل

وتصبح مهمة هذا المرجع أن يعطى قيمة للجهد على قدر كبير من الثبات عبر مدى واسع من أحوال التحميل والحرارة . وقد تخطت استخدامات مصادر الجهد من وحدات دايود زينار كافة الخلايا النمطية التى كانت تستخدم منذ فترة .

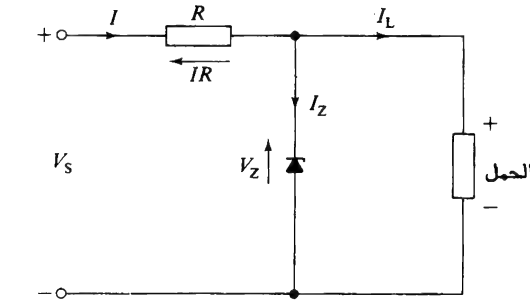
ويوضح شكل ٨ - ١٦ دائرة اسناد جهد أساسية تستخدم دايود زينار . ومن الممكن فى هذه الدائرة تغذية مصدر الجهد غير المستقر V_s عن طريق مقوم قنطرى ومن بعده مرشح موجى . ويتحتم أن يمر تيار خلال دايود زينار أثناء التشغيل العادى حتى فى حالة فصل الحمل . وكاسترشاد تقاربى بالنسبة لمستويات الجهد الشائعة ، فإن القيمة الاسمية لجهد المنبع V_s تقع عادة فى المدى بين حوالى $1.5V_z$ الى $2V_z$ ، حيث تمثل V_z جهد انهيار دايود زينار . وسنقدم فيما يلى طريقة مبسطة لتصميم دائرة اسناد للجهد .

لنفرض أن المطلوب هو تصميم دائرة اسناد للجهد من الطراز الموضح بشكل ٨ - ١٦ لى يعطى تيارا قدره 100 mA على ضغط قدره $5.5V$. فلكى نحدد قيمة R ، يلزم اختيار قيمة V_s المستخدمة فى الدائرة ولتكن $10V$ فكما سبق وأوضحنا يتحتم أن يمر التيار خلال الدايود بصفة مستمرة ، أى أن يستمر تشغيل الدايود على منوال الانهيار العكسى طيلة الوقت . لندع أدنى قيمة لتيار الدايود مساوية 1 mA . ففى حالة تيار حمل قيمته 100 mA

بالإضافة إلى سحب لتيار خلال الدايمود قيمته 1mA فإن فرق الجهد بين طرفي R يكون

$$IR = V_S - V_Z$$

$$R = (10 - 5.5)/0.101 = 44.6 \Omega \quad \text{لذا}$$



شكل ٨ - ١٦ دائرة دايمود زينار كمراجع لمصدر الجهد

فإذا افترضنا أن مقاومات بتفاوت مسموح به في حدود 5% في المائة متواجده ، فإن الاختيار ينحصر ما بين قيم قدرها 39Ω أو 43Ω أو 47Ω . ومن الضروري أن تسمح قيمة المقاومة المختارة بتمرير 1mA على الأقل خلال الدايمود مع جهد للمصدر قيمته 10V بالإضافة إلى تيار الحمل ومقداره 100mA . من هذا يتضح ، إذن ، أن قيمة المقاومة المختارة لا بد وأن تقل عن 44.6Ω . ويمكن جدولة توزيع القيم المختلفة للمقاومات كما يلي :

القيمة المنتقاة (Ω)	أدنى قيمة (Ω)	أقصى قيمة (Ω)
47	44.65	49.35
43	40.85	45.15
39	37.05	40.95

فبالنسبة للقيمة المنتقاة 43Ω ، يتضح أن أقصى قيمة لها تفوق أدنى قيمة يمكن تقبلها ، وهكذا نختار مقاومة بقيمة منتقاة 39Ω . وسنفترض فيما يلي أن قيمتها الحقيقية تساوي 39Ω . عندما يكون $V_S = 10\text{V}$ ، $R = 39 \Omega$ ومع تيار حمل مقداره 100mA ، فإن أدنى قيمة لتيار الدايمود تصبح 15.4mA [وتصبح القدرة المستهلكة كما يلي :

$$P = (V_S - V_Z)^2/R = (10 - 5.5)^2/39 = 0.52\text{W}$$

ومن المؤكد أن مقاومة بقدره مقننة قدرها 1W سوف تلائم هذا الفرض .
وحيث أنه قد تم اختيار مقاومة مقدارها 39Ω ، فإن قيمة التيار المسار
فى R يصبح

$$I = (V_S - V_Z)/R = (10 - 5.5)/39 = 0.115 \text{ A} = 115 \text{ mA}$$

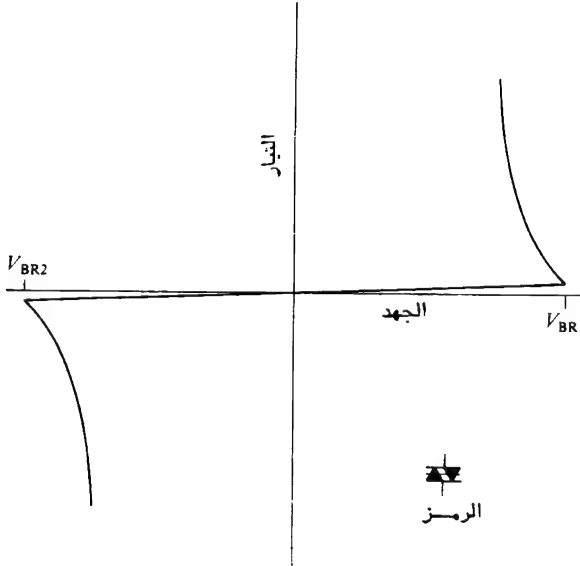
فاذا ما تم فصل الحمل ، فإن هذا القدر من التيار سوف يمر خلال الدايمود ،
ويصبح التفتين ، P_D ، للدايمود

$$P_D \geq V_Z I = 5.5 \times 0.115 = 0.6325 \text{ W}$$

حيث أن تقنيا قدره 1W للدايمود يكون ملائما .

٨ - ١١ دايمود الانهيار مزدوج الاتجاه (دايمك)

إن وحدة دايمود الانهيار مزدوجة الاتجاه ، والتي يرجع اليها عادة باسمها
التجارى **دايمك** ، هى نبائط ذات طرفين من الاسلاك وليست أبعد شبيها عن
وحدات الدايمود الصغيرة ، ولها خواص مشابهة لتلك المبينة فى شكل
٨ - ١٧ . فعندما يقل الجهد عبر الدايمود عن قيمة جهد الانهيار V_{BR1} ،
فإن الدايمك يمنع مرور التيار . وعند جهد V_{BR1} ، يبدأ الدايمك فى التوصيل
ويتناقص الجهد عبر طرفيه الى قيمة اصغر . ويرتد الدايمك الى حالته الممانعة
عندما يتم انقاص التيار المار لقيمة تقل عن حد أدنى معين لمثل هذا النوع
من النبائط . وتقع قيمة هذا الحد الأدنى عادة بين حوالى 50 الى
 $300 \mu\text{A}$. كما يظهر الدايمك خاصية الانهيار الكهربائى عندما يعكس جهد
المصدر ، فيحدث الانهيار عند V_{BR2} .



شكل ٨ - ١٧ خواص واصطلاح دايمود الانهيار مزدوج الاتجاه ، دايمك [

وتتوقع قيم انهيار الجهد عادة في المدى بين 30 الى 50V . وليس من الضروري ان تتساوى قيم كل من V_{BR1} ، V_{BR2} فقد يختلف كل منها عن الآخر بما قيمته بضع وحدات من الفولت .

وتستخدم وحدات الدايك عادة كنبائط تفريغ سعوية . وفي مثل هذه الدوائر ، يقوم المكثف بأداء دور مصدر طاقة ذي معاوقة منخفضة القيمة ويوفر ، علاوة على ذلك ، نبضة طاقة عظيمة لفترة زمنية متناهية القصر ، أثناء تفريغه خلال الدايك . ويعتبر مولد النبضات المستخدم مع الثايرستور والترابك واحدا من الاستخدامات المألوفة لوحدات الدايك [أنظر الفصل الخامس عشر] .

الفصل التاسع

وحدات الترانزستور

٩ - ١ أنواع الترانزستور :

ان التطور السريع فى تكنولوجيا اشباه الموصلات ادى الى تصنيع مجموعة مذهشة من الترانزستورات . | الاسم ترانزستور هو اختصار كلمتى مقاوم التحويل TRANSfer reSISTOR | . ولحسن الحظ : يمكن تصنيف الترانزستور الى نوعين أساسيين هما :

١ | وصلات الترانزستور ثنائى القطب (BJTs)

١ ب | ترانزستورات التأثير المجالى (FETs)

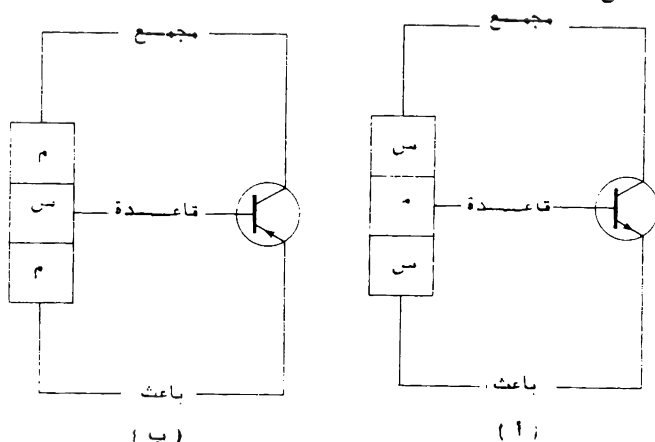
يؤخذ اسم ترانزستور ثنائى القطب من منطلق الحقيقة التى تقول أن كلا من حاملات الشحنة الموجبة والسالبة أى الفجوات والالكترونات تشارك فى ميكانيكية انسياب التيار . وتسمى وحدات ترانزستور التأثير المجالى بهذا الاسم لان مجالا كهربائيا يتحكم ويشارك فى عملية انسياب التيار فى وحدات ترانزستور التأثير المجالى . نوع واحد من الشحنات الحاملة التى يمكن ان تكون الكترونات او فجوات . وتبعاً لهذه الحقيقة توصف وحدات ترانزستور التأثير المجالى احيانا على انها نبائط ترانزستور احادية القطب .

٩ - ٢ وصلات الترانزستور ثنائى القطب

يمكن تقسيم المجموعات السابقة الى تقسيمات فرعية اخرى ستوضح فيما يلى أهمها : أن وصلة الترانزستور ثنائى القطب هى نبيلة شبيهة موصلة من ثلاث طبقات يتم تصنيفها إما من شريحة او نحائنه واحدة من المادة شبيهة الموصلة والتى تكون عادة من مادة السليكون بالرغم من أن مواد اخرى من ضمنها زرنيخد الجيرمانيوم والجاليوم

تستخدم أيضا . وتعرف مناطق الترانزستور الثلاث بأسماء الباعث والقاعدة والمجمع ، على التوالي ، وهي موضحة في شكل ٩ - ١ .

ويستعمل نوعان أساسيان من وصلة الترانزستور ثنائي القطب هما ترانزستورات سالب - موجب - سالب [س - م - س] ، وترانزستورات موجب - سالب - موجب . [م - س - م] . كما هو موضح في الشكل . والأبعاد الطبيعية للنبائط الحديثة المستعملة في تطبيقات القدرة المنخفضة صغيرة جدا ، فمثلا تبلغ مساحة الانواع السطحية $7 \times 30 \mu\text{m}$. حيث $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{m}$ وبالطبع ، فإن الحجم الطبيعي لكبسولة الترانزستور يزيد كثيرا عن ذلك [انظر شكل ٩ - ٢] لآمكانية سهولة التداول . ولكي يمكن ادراك مدى صغر هذه الأبعاد بالنسبة لمقايير واقعية ، فإن سمك صفحة هذا الكتاب يبلغ حوالي $100 \mu\text{m}$ ومع هذا القدر من الأبعاد ، تصبح مراقبة الجودة أمرا حيويا جدا عند تصنيع الترانزستور .



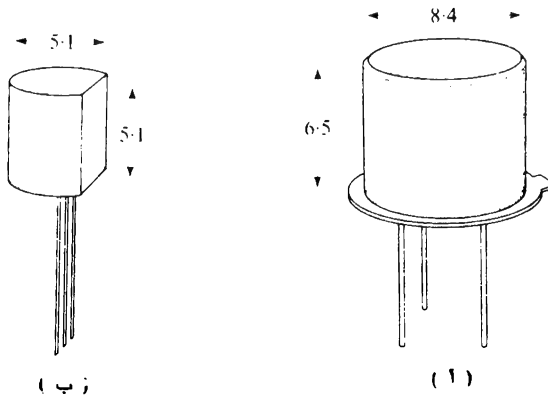
شكل ٩ - ١ رموز الترانزستور : أ س - م - س و ب م - س - م

هذا وسوف نناقش الأساليب الفنية للإنتاج في الفصل الثاني عشر . ولأسباب سوف تذكر فيما بعد ، تصنع منطقة قاعدة الترانزستور لكي يكون سمكها رقيقا بقدر الإمكان ، فقد يصل هذا السمك ، مقاسا بين الباعث والمجمع . إلى درجة من الصغر تعادل $0.5 \mu\text{m}$ وعلى سبيل المقارنة . فلنذكر أن الطول الموجي للضوء الأخضر يعادل حوالي $0.5 \mu\text{m}$.

ويمكن وصف عمل الترانزستور بتعبيرين بسيطين ، إذ تؤدي منطقة الباعث دور الباعث لحاملات الشحنة التي تجمع أخيرا في منطقة المجمع . وتقوم منطقة القاعدة بدور الإلكترون الذي يتحكم في قيمة تيار المجمع . ومن المعلوم أن فزيائية آلية توصيل التيار تتسم بالتعقيد ، وسيعطى شرح مبسط لها في الفصل ٩ - ٣ .

١ يمكن أن يرجع القارئ الراغب في الحصول على معلومات تفصيلية
الى كتاب **Integrated Electronics** تأليف **Millman and Halkias**
الناشر : McGraw-Hill

ويتم تصنيع الترانزستورات في مدى واسع من الاشكال الطبيعية
الاساسية ، ثنان منها مبيان في شكل ٩ - ٢ ففي شكل ٩ - ٢ | ١ |
يحكم اغلاق العلبة المعدنية التي تشبه شكل القبة ،

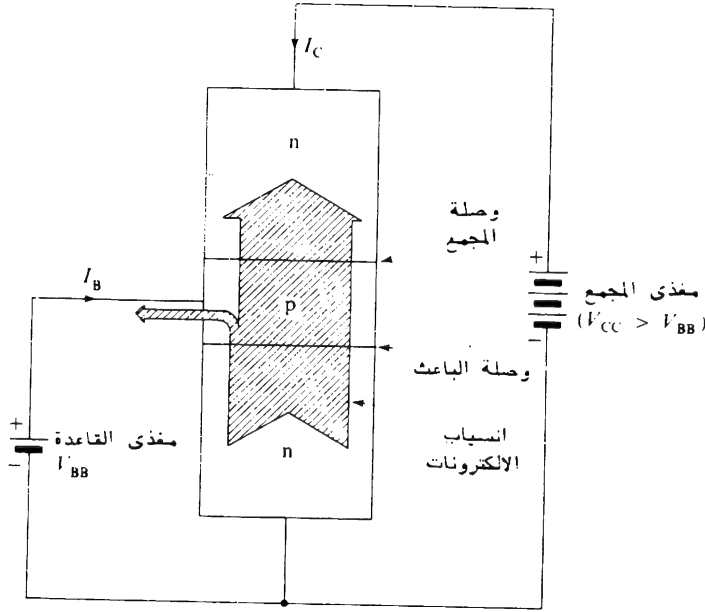


شكل ٩ - ٢ ترتيبات الترانزستور | أ | علبة صغيرة طراز To-5 و | ب | احدى
صور الكبسولة البلاستيك | جميع الأبعاد بالمليمتر .

ويمكن استخدامها في مدى واسع من درجات الحرارة يتراوح عادة بين
55°C - الى 180°C . أما النوع الثاني ، شكل ٩ - ٢ | ب | ، على
هيئة كبسولة البلاستيك ، فهو شائع جدا ويستعمل في مدى واسع للمعدات
الصناعية والمنزلية .

٩ - ٣ عمل وصلة الترانزستور

يمكن شرح عمل كل من وصلتي الترانزستور س - م - س والترانزستور
م - س - م باستخدام فكرة تيار الانسياب و تيار الانتشار التي سبق
الإشارة اليها في الفصل الاول . وتعالج منطقاً الباعث والمجمع ، في كلا
النوعين من أنواع الترانزستور باضافة مزيد من الشوائب لكي تكتسب
موصلية عالية . وتعالج منطقة القاعدة باضافة قليلة ، وتكتسب موصلية
منخفضة القيمة . وسيخصص الوصف التالي لنوع الترانزستور س - م -
س ، المبين في شكل ٩ - ٣



شكل ٩ - ٢ توصيلة الباعث المشترك

نفى أحوال التشغيل العادية كعنصر تكبير ، تكون وصلة م - س من القاعدة الى الباعث أمامية الانحياز . حيث توصل منطقة القاعدة من النوع - م للقطب الموجب للبطارية V_{BB} . ويوصل الباعث من النوع - س بالقطب السالب . وهكذا . يحدث انسياب التيار بين منطقتي القاعدة والباعث . وبما أن منطقة الباعث معالجة باضافات من الشوائب الكثيرة ، فان الفرصة تصبح مهياة تماما لانبعاث الالكترونات الى منطقة القاعدة ، وحيث أن موصلية منطقة القاعدة منخفضة القيمة . فان عددا قليلا نسبيا من الالكترونات العابرة للوصلة يتمكن من الاتحاد مع العدد الصغير من الفجوات المتاحة القادرة على الحركة في منطقة القاعدة . وكنتيجه لذلك ، يتواجد تركيز عال من الالكترونات في القاعدة | حيث تعتبر حاملات الشحنة من الالكترونات هناك أقلية ويقوم مصدر الجهد V_{BB} بتعويض النقص في الفجوات التي تكون قد اتحدت بالفعل مع الالكترونات في منطقة القاعدة نوع - م ، مما يؤدي الى مرور تيار القاعدة للترانزستور .

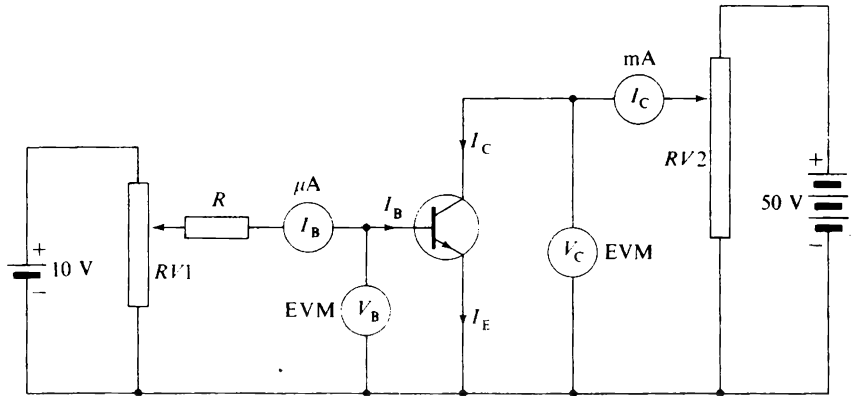
وتزيد قيمة جهد المجمع V_{CC} عادة عن جهد دائرة القاعدة V_{BB} مما يؤدي الى أن تصبح وصلة المجمع عكسية الانحياز ومع كل ذلك فان تركيز الالكترونات العالية ينجذب نحو الجهد الموجب المسلط على المجمع ، ويوصل الى منطقة المجمع معظم هذه الالكترونات . وقد وجد : في التطبيق العملي أن 98-99.9 في المائة من عدد الالكترونات التاركة للباعث ، تصل فعلا

الى المجمع . ومن الممكن ان تتحسن كفاءة هذه العملية بان يتخذ سمك منطقة القاعدة قيمة صغيرة جدا .

ويمكن شرح عمل وصلات الترانزستور م — س — م على نفس الاسس السابقة مع مراعاة أن يتم توصيل كل من القاعدة والمجمع بالقطب السالب للبطارية وان تكون حاملات الشحنة المنبعثة والمجمعة من الفجوات .

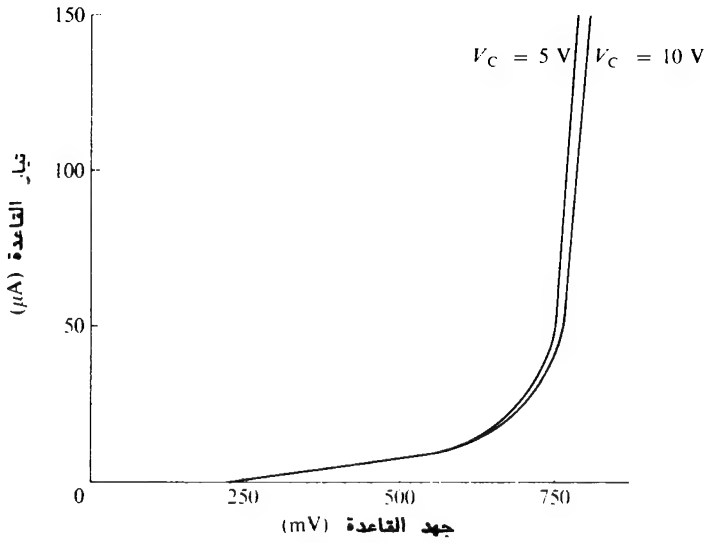
٩ — ٤ خواص وصلة الترانزستور ذات الباعث المشترك

يشارك الالكترون الباعث مع مصدرى كل من الدخل [القاعدة] والخرج [المجمع] فى الدائرة الموضحة بالشكل ٩ — ٤ والتي تعرف على انها تتخذ صورة الباعث المشترك . وتعين خواص الدخل | أنظر شكل ٩ — ٥ | | | | | للنبطة بأخذ قراءات لكل من تيار القاعدة I_B وجهد القاعدة V_B عند تثبيت جهد المجمع V_C . وهكذا . توجد خواص دخل عند كل قيمة للجهد V_C ، ويوضح شكل

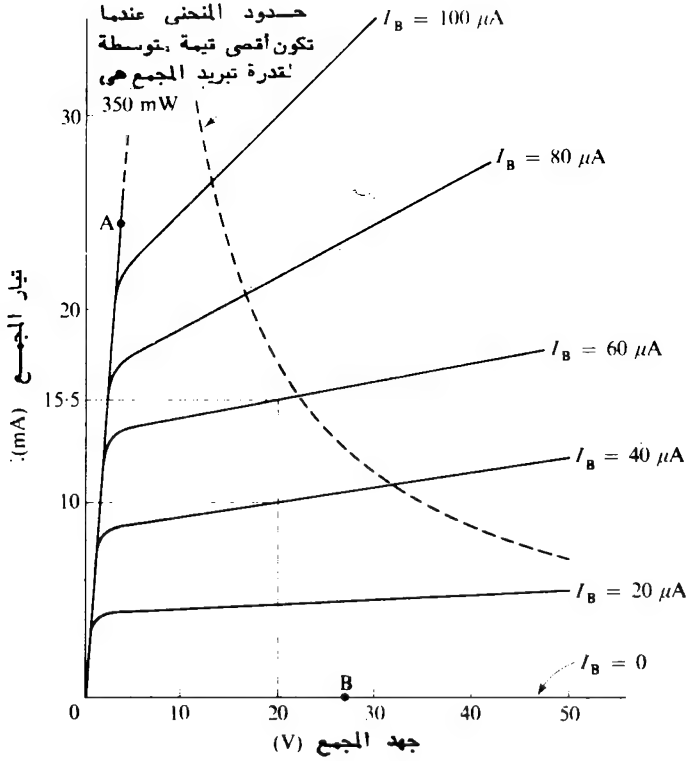


شكل ٩ — ٤ دائرة اختبار شائعة لتعين خواص الباعث المشترك لوصلة ترانزستور ثنائى القطب من النوع س — م — س

٩ — ٥ | خواص الدخل عند قيمتين للجهد V_C . ومنطقة القاعدة — الباعث للترانزستور تشبه الوجهة الكهربية وصلة الداىود نوع م — س أمامى الانحياز ، وخواص الدخل تشبه خواص الداىود فى طبيعتها . ويسبب عن زيادة جهد المجمع من 5v الى 10V جهة اليمين ، كما هو موضح بالشكل ، ازاحة صغيرة للمنحنيات المميزة وعموما تكون هذه الازاحة على درجة من الصغر تسمح باهمالها .



[أ]



[ب]

شكل ٩ - • الخصائص المميزة [أ] للدخل و [ب] خرج الباعث المشترك

سنستخدم الفولتميترات الإلكترونية الميزة بالحروف EVM فى شكل ٩ - ٤ لقياس الجهود فى الدائرة حيث أن مقاومتها الداخلية كبيرة جدا فى العادة . اكبر من 10 M | وتسحب تيارا صغيرا جدا . وتعتبر السمة السابقة هامة على وجه الخصوص فى دائرة القاعدة . لأن قيمة تيار القاعدة قد تقع فى حدود بضعة وحدات من الميكرو أمبير فقط . فاجهزة القياس بالملف المنحرك التقليدية تحتاج لكمية ملموسة من التيار فى العادة 25 mA الى بضعة mA حتى تعطى انحرافا عبر تدريج القياس .

تعيين خواص الخرج او خواص المجمع بأخذ قياسات لكل من تيار المجمع I_c وجهد المجمع V_c | انظر شكل ٩ - ٥ | ب | | ٠ | على أن يرسم كل منحنى مميز للخرج عند قيمة ثابتة لتيار القاعدة . وتظهر خواص الخرج ان الزيادة فى تيار القاعدة تؤدي الى زيادة فى تيار المجمع . وهكذا . يمكن استخدام تيار القاعدة كوسيلة للتحكم فى قيمة تيار المجمع . وعلاوة على ذلك يؤدي تغير معين فى تيار القاعدة الى تغير اكبر بكثير فى تيار المجمع . فعند جهد مجمع قيمته 20V فى الشكل . تصبح قيمة تيار المجمع عند تيار قاعدة $40 \mu A$ مساوية 10 mA . وعند نفس القيمة لجهد المجمع يصبح تيار المجمع 155 mA مع تيار قاعدة مقداره $60 \mu A$. وفيما بين النقطتين المعنيتين يؤدي تغير فى قيمة تيار القاعدة مقداره $20 \mu A = (40 - 60)$ الى تغير قيمته 5.5 mA (10-15.5) لتيار المجمع . وتعرف النسبة بين هذين التغيرين فى التيار بكسب تيار الباعث المشترك فى حالة الإشارة الصغيرة للترانزستور وبخصص لها الرمز h_{fe} | لمعالجة أكثر شمولاً للترانزستور انظر كتابي Industrial Electronics وايضا Advanced Industrial Electrics للمؤلف N. M. Morris والناشر Mc Graw-Hill . ومن ثم

$$\text{التغير فى تيار المجمع} \\ h_{fe} = \frac{\text{عند قيمة ثابتة لجهد المجمع}}{\text{التغير فى تيار القاعدة}} \\ = \frac{5.5 \times 10^{-3}}{20 \times 10^{-6}} = 275$$

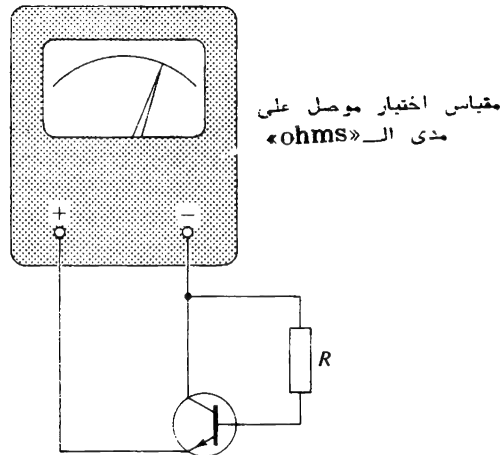
هذا وتشير القيمة المرتفعة للباراميتتر h_{fe} الى أن الترانزستور حساس بالنسبة لتغيرات إشارة الدخل . وهى خاصية مرغوبة فى معظم التطبيقات . ومن الممكن ان تقع قيمة كسب التيار فى المدى من 20-900 حيث ترجع القيمة الأقل لوحدة ترانزستور القدرة وترجع القيمة الأعلى لوحدة الترانزستور المستخدمة فى تكبير الاشارات الصغيرة . وعلى سبيل المثال ، قد يقع مدى كسب التيار فى المدى من 20-70 . بالنسبة لكبر قدرة من الترانزستور قادر على تبديد 120W . بينما قد يكون كسب التيار واقعاً فى المدى من 400-900 . بالنسبة لوحدة الترانزستور المستخدمة فى المكبرات ذات الكسب العالى . وفى الحالة الاخيرة ، قد يكون من المحتمل أن تكون قيمة اقصى قدرة تستطيع النبيلة أن تبددها أقل من 0.4 W تقريبا .

وسيللاحظ القارئ أن المنحنيات المميزة للجمع يتباعد كل منها عن الآخر. كلما تزايدت قيمة جهد الجمع. وتعرف هذه الظاهرة باسم «التأثير المبكر» وتعود إلى تناقص حقيقي في عرض القاعدة كلما ازداد جهد الجمع. مما يؤدي إلى زيادة كسب التيار. وفي الأحوال العادية، يعتبر هذا التأثير غير ذي أهمية، إلا أنه من الممكن في بعض الأحوال أن يسبب تشوها في إشارة الخرج.

وتتصف الدوائر التي تستخدم وحدات الترانزستور على صورة الباعث المشترك. بسمات تؤدي إلى كسب تيار وكسب جهد وكسب قدرة بقيم على قدر كاف من الارتفاع وذلك بين دائرتي الدخل والخرج. وقد أدت هذه السمات إلى أن أصبحت صورة الباعث المشترك أكثر توصيلات الترانزستور انتشاراً

فعند انخفاض قيمة جهد الجمع. في العادة بين $0.2V$ و $0.5V$. يؤدي تسليط تيار قاعدة بقيم مستمرة في التزايد، إلى أن يدفع الترانزستور للعمل في حالة تشبع تمثلها النقطة A في شكل ٩ - ٥ | ب | فإذا انقص تيار القاعدة إلى الصفر. تتناقص قيمة تيار الجمع من الوجهة العملية. إلى الصفر. ويقال أن الترانزستور أصبح في حالة قطع. تمثلها النقطة B في شكل ٩ - ٥ | ب |. وعند استخدام الترانزستور كمفتاح | نظر الفصل الحادي عشر |، فإنه يعمل عادة إما في حالة تشبع أو في حالة قطع.

ويوضح شكل ٩ - ٦ طريقة بسيطة لاختبار الترانزستور باستعمال مقياس متعدد القياسات. فعند استخدام المقياس على منوال «ohms» تستخدم البطارية الداخلية لجهاز الاختبار لقياس مقاومة الدائرة الخارجية. بحيث يتصل القطب الموجب للبطارية الداخلية بطرف الجهاز

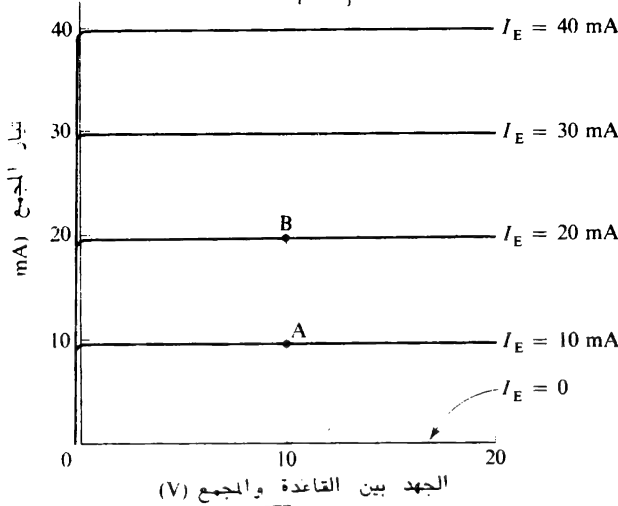
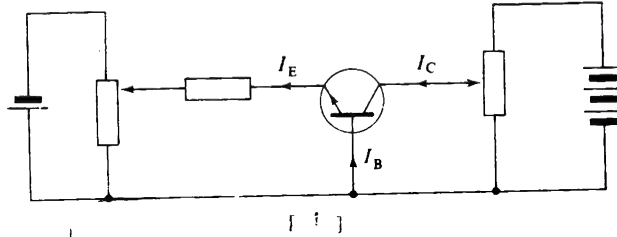


شكل ٩ - ٦ طريقة بسيطة لاختبار الترانزستور

عند علامة « - » بينما يتصل القطب السالب منها بطرف الجهاز عند علامة « + » انظر ايضا الفصل السادس عشر | . فاذا تم توصيل مقاومة R تقع قيمتها فى المدى ما بين $1\text{ k}\Omega$ الى $10\text{ k}\Omega$ بين القاعدة والمجمع لوحدة ترانزستور سليم . فان القراءة المألوفة للمقياس تنحصر فى المدى من $1.5\text{ k}\Omega$ الى $5\text{ k}\Omega$ وينبغى ان يشير الجهاز الى مقاومة مقدارها مالا نهاية اذا فصلت المقاومة R .

٩ - ٥ توصيلة القاعدة المشتركة

يوضح شكل ٩ - ٧ | أ | وصلة ترانزستور ثنائية القطب من النوع س - م - س فى التوصيلة ذات القاعدة المشتركة . حيث يوصل الكترود القاعدة بالخط المشترك الذى يربط بين مصدرى الدخل | الباعث | والخرج [المجمع] .



شكل ٩ - ٧ | أ | دائرة اختبار لتعيين خواص توصيلة القاعدة المشتركة | ب | مجموعة تقليدية لخواص خرج توصيلة القاعدة المشتركة

وعند فحص الدائرة ، يلاحظ أن كلا من تيارى المجمع والقاعدة ينساب فى دائرة الباعث من ثم ، يكون تيار الباعث

$$1 - 9$$

$$I_E = I_C + I_B$$

وتتخذ خواص الخرج للترانزستور في حالة القاعدة المشتركة . بصفة عامة اشكالا تشبه المنحنيات الموضحة في شكل ٩ - ٧ ب | ٠ | ومن هذه الخواص الموضحة . نجد ان تيار القاعدة يساوى $40 \mu A$ أى 0.04 mA عندما تبلغ قيمة تيار المجمع 10 mA . وعند التعويض بهذه الأرقام في المعادلة | ٩ - ١ | نجد أن

$$I_E = 10 + 0.04 = 10.04 \text{ mA}$$

أى أن قيمة تيار المجمع تكاد تساوى بالتقريب . قيمة تيار الباعث . وحيث أن تيار الباعث هو تيار الدخل للترانزستور وتيار المجمع هو تيار الخرج ، فإن كسب تيار القاعدة المشتركة في حالة الإشارات الصغيرة يكون

$$\frac{\text{تغير تيار الخرج}}{\text{تغير تيار الدخل}} = \frac{\text{التغير في } I_C}{\text{التغير في } I_E}$$

يتضح من الخواص المبينة في شكل ٩ - ٧ ب | ٠ | أن تغيرا مقداره 10 mA في قيمة تيار الباعث | من النقطة A الى النقطة B على المنحنيات | يحدث تغيرا اقل في تيار المجمع . وبالتالي تقل قيمة كسب التيار للقاعدة المشتركة قليلا عن الواحد . وتقع قيم كسب التيار المألوفة في المدى من 0.98 الى 0.999 .

وبالنسبة لتطبيقات متعددة . تتفوق سمات المكبرات ذات الباعث المشترك عن متيلاتها في المكبرات ذات القاعدة - مشترك . ومع ذلك . تتخذ دوائر القاعدة مشترك عددا من السمات التي تضعها في مرتبة أكثر ملائمة في التطبيقات الخاصة والتي منها المكبرات عالية التردد .

٩ - ٦ توصيلة المجمع - المشترك

يكثر استخدام وحدات الترانزستور في صورة المجمع - المشترك كمراحل المصادة بين الدوائر التي يوجد بينها اختلاف كبير في قيم المعاونة . وسوف نسرّد مزيدا من التعليقات في الفصل الثالث عشر : حيث تعرض هذه الصورة بالتفصيل .

٩ - ٧ أقصى قدرة مبددة ومنحنيات الصلابة بين القدرة الكلية المبددة ودرجة الحرارة المحيطة .

القدرة الكلية المبددة P_{tot} بالترانزستور هي حاصل جمع القدرة المبددة في كل من المجمع والقاعدة . وبالرجوع الى دائرة اختبار الباعث .

المشترك فى شكل ٩ - ٤ ، تصبح القدرة الكلية المبذورة فى الترانزستور هى

$$P_{tot} = V_C I_C + I_B I_B$$

وفى العادة ، تزيد قيمة $I_C I_C$ كثيرا عن قيمة $V_B I_B$ وغالبا ما نفترض ان قيمة P_{tot} هى $V_C I_C$. وقد رسم المنحنى الذى يناظر $V_C I_C = 350 \text{ mW}$ على المنحنيات المميزة للباعث المشترك فى شكل ٩ - ٥ .
[ب] ويتضح من الرسم ان المنحنى يمر خلال النقطة $V_C = 10 \text{ V}$ و $I_C = 35 \text{ mA}$ والنقطة $V_C = 20 \text{ V}$ و $I_C = 17.5 \text{ mA}$ الخ .

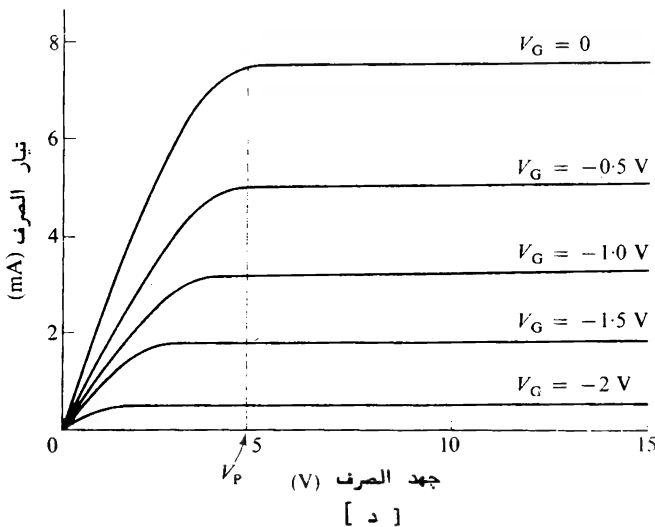
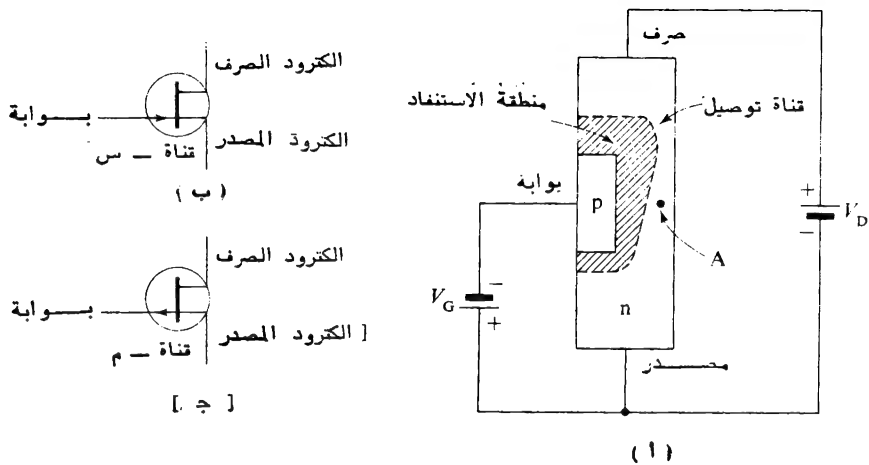
وعند درجات الحرارة المتزايدة يجب ان تنقص القدرة المبذورة فى الترانزستور وتعطى المصانع منحنيات العلاقة بين القدرة الكلية المبذورة ودرجة الحرارة المحيطة لوحدات الترانزستور والتى تشبه بصفة عامة المنحنيات الخاصة بالوصلات الثنائية | انظر شكل ٨ - ١٣ .

٩ - ٨ ترانزستورات التأثير الجالى

يمكن اعتبار وحدات ترانزستور التأثير الجالى (FETS) ، فى معظم الأحوال . وكأنها نبائط جهدية التشغيل . حيث ان قيمة المعاوقة الداخلية ، كما فى ترقية المصدر المشترك | انظر شكل ٩ - ٨ | وعند ترددات التشغيل المعتادة . تكون كبيرة بالدرجة التى لا تسحب معها . من الناحية العملية ، أى تيار من مصدر الإشارة - ويمكن تقسيم وحدات ترانزستور التأثير الجالى بصفة اجمالية . الى طائفتين هما ترانزستورات التأثير الجالى ذوات البوابة الموصلة (JUGFETs) ترانزستورات التأثير الجالى ذوات البوابة المسرولة (IGFETs) او ترانزستور التأثير الجالى من اشباه الموصلات الاكسي معدنية (MOSFET)

٩ - ٩ ترانزستورات التأثير الجالى ذوات البوابة الموصلة

يمكن شرح فكرة عمل ترانزستور التأثير الجالى ذى البوابة الموصلة بالرجوع الى شكل ٩ - ٨ . اذ تحوى النبيطة قضيبا او قناة ذات مقطع بائى | على شكل حرف ب | من المادة نوع - س مع منطقة البوابة من المادة نوع - م التى استقرت بها . وبالتالي ، يعرف نوع ترانزستور التأثير الجالى الموضح فى الشكل بترانزستور التأثير الجالى ذى البوابة الموصلة بقناة - س وتكون الوصلة م - س من البوابة - الى القناة ، فى احوال التشغيل المعتادة . عكسية الانحياز . وتمتد منطقة الاستنفاد الموضحة فى شكل ٩ - ٨ [أ] داخل قناة التوصيل ذات النوع - س . ويحدث انسياب التيار بين الكترودى المصدر والحرف عند نهايتى القناة .



شكل ٩ - ٨ [أ] مقطع خلال ترانزستور التأثير الجالى ذى البوابة الموصلة بقناة - س
رمز كل من [ب] قناة - س و [ج] قناة - م . [د] مجموعة الخصائص المميزة
لخرج نبطة قناة - س

وحيث أن ترانزستور التأثير الجالى فى شكل ٩ - ٨ [أ] هو نبطة
بقناة - س فإن انسياب التيار يكون نتيجة لتحرك الالكترونات بين المصدر
والصرف وبالتالي يوصل الكترود المصدر بالقطب السالب للبطارية .

يوضح شكل ٩ - ٨ [ب] الرمز الاصطلاحى لدائرة ترانزستور التأثير
الجالى ذى البوابة الموصلة بقناة - س ، ويبين الخط الذى يصل بين المصدر
المصرف وجودة قناة توصيل طبيعية بينهما عندما تكون قيمة جهد البوابة
مساوية للصفر ويوضح اتجاه السهم عند توصيلة البوابة ان وصلة البوابة

— الى — القناة تشابه في طبيعتها وصلة الدايمود م — س الثنائية ، حيث يكون اتجاه السهم من المادة نوع — م الى المادة نوع — سى | كما هو الحال ايضا لوصلة الدايمود م — س الثنائية | .

اما في النبائط ذات القناة — م | انظر الرمز في شكل ٩ — ٨ | ج | | ، فان قناة التوصيل تتكون من مادة نوع — م . ويتم انتشار منطقة البوابة من نوع — س داخل القناة . وفي حالة النبائط ذوات القناة — م . تكون قطبية المصرف سالبة . وتكون قطبية جهد البوابة موجبة . وذلك بالنسبة الى الكترود المصدر .

مظهر القناة — سى من ترانزستور التأثير الجالى ذى البوابة الموصلة اداء افضل من نبطية القناة — م عند الترددات العالية وبكثر استعمالها .

ان اكثر دوائر ترانزستورات التأثير الجالى شيوعا هي التى فى صورة **المصدر المشترك** . شكل ٩ — ٨ | | . حيث يوصل الكترود المصدر بالخط المشترك الواصل بين محددى الدخل والخرج . ويوضح شكل ٩ — ٨ | د | منحنيات خواص خرج المصدر — المشترك وتتواجد قناة توصيل بين المصدر والمصرف عندما يكون جهد البوابة لترانزستور التأثير الجالى ذى البوابة الموصلة بالقناة — س مساويا للصفر | انظر شكل ٩ — ٨ | د | . وعند قيم جهد اقل من V_p | **جهد نهاية التغير** | يزداد تيار المصرف بانتظام معقول مع زيادة جهد المصرف . وفي هذه المنطقة من المنحنيات المميزة . يتصرف ترانزستور التأثير الجالى كما لو كان مقاومة خطية . وفي بعض الدوائر ، تستخدم وحدات ترانزستور التأثير الجالى فى هذه المنطقة من المنحنيات وتوصف على انها **مقاومات تأثير التغير** .

ويصبح تيار المصرف ثابتا على وجه التقريب غير معتمد فى قيمته على جهد المبيع وذلك بعد قيمة معينة لجهد المصرف V_p . ويعود السبب فى تغير شكل المنحنيات المميزة لما يلى . فمع جهد للبوابة يساوى الصفر . واذا كانت قيمة جهد النقطة A فى القناة | انظر شكل ٩ — ٨ | | + 4V بالنسبة للمصدر . فان الوصلة م — س بين البوابة والقناة تصبح عكسية الانحياز بقيمة 4V . وتتواجد منطقة استنفاد عند الوصلة . فاستمرار زيادة جهد المصرف يؤدى الى زيادة جهد النقطة A . ومعها . يزداد عمق منطقة الاستنفاد ويؤدى ذلك ، بدوره . الى انقاص عرض قناة التوصيل

وفى النهاية . يتم الوصول الى النقطة التى تكون عندها منطقة الاستنفاد تكاد تمتد عبر عرض القناة الكلى لتضيق من مسار التيار الى غشاء [فيلم] رقيق . ويحدث هذا عندما تتساوى قيمة جهد المصرف مع جهد نهاية التغير

V_p . ولن يستطيع تيار الصرف أن يستمر في الزيادة بعد الوصول لهذه القيمة من جهد الصرف .

فإذا ما تم تسليط الجهد ، V_G ، على البوابة بحيث تكون الوصلة من البوابة — الى — المصدر عكسية الانحياز ، أى ، بتسليط جهد سالب لقناة — سي لترانزستور التأثير المجالى ، فان بداية جهد نهاية التغير تحدث عند قيمة اصغر لتيار الصرف . فاذا كانت قيمة V_G كبيرة بدرجة كافية ، فمن الممكن ان تسبب قطعاً تاماً لتيار الصرف . ولهذا ، يصبح من الممكن استخدام ترانزستور التأثير المجالى ذو البوابة الموصلة كمفتاح الكترونى .

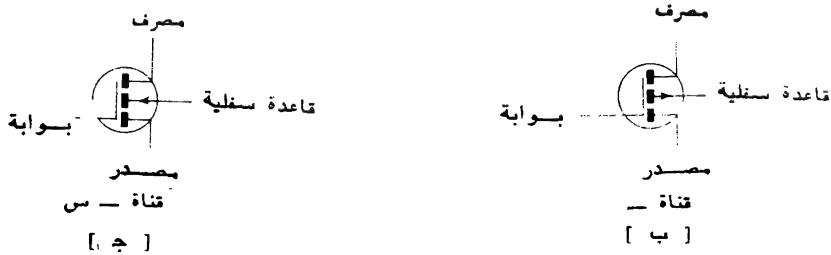
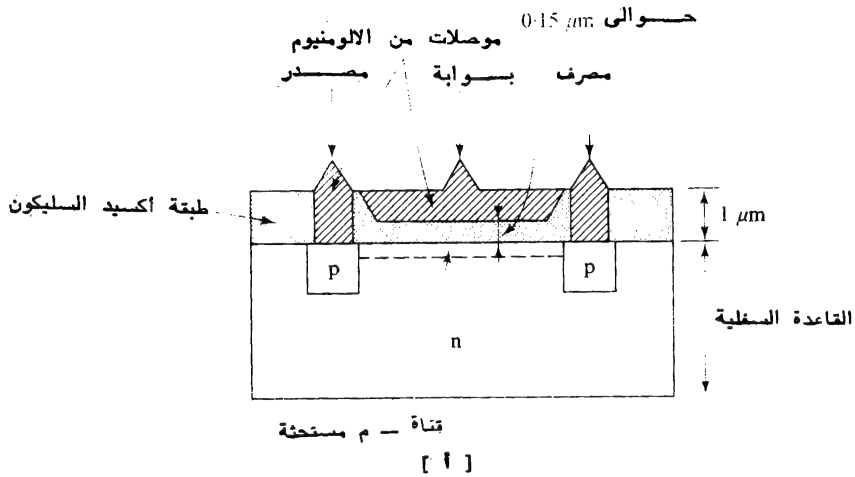
ويعرف ترانزستور التأثير المجالى ذو البوابة الموصلة سابق الذكر على انه نبطة استنفاد ، حيث أن زيادة جهد البوابة تقلل أو تستنفد قيمة تيار الصرف .

تبدو دائرة الدخل بين البوابة والمصدر لترانزستور التأثير المجالى وكأنها دايود عكسى الانحياز ، وذلك عند ترددات الاشارة المنخفضة . وبمعنى آخر ، فانها تبدو كمقاومة ذات قيمة عالية جداً ، وذلك بالنسبة الى الدائرة الخارجية تقع عادة بين $10^9 \Omega$ الى $10^{11} \Omega$. ويعتبر اداء وحدات ترانزستور التأثير المجالى ذات البوابة الموصلة ، عند الترددات العالية ، أقل جودة ، بصفة عامة ، عن وصلات الترانزستور ثنائية القطب . ويرجع هذا ، أساساً الى التأثير السعوى المقترن بالانحياز العكسى من البوابة — الى الوصلة لدايود الدخل . لذا ، يكثر استخدام وحدات الترانزستور ثنائية القطب فى دوائر الترددات العالية جداً . ونظراً للقيمة العالية جداً لمعاوقة دخل وحدات ترانزستور التأثير المجالى ذات البوابة الموصلة ، عند الترددات السمعية ، فقد حلت محل وصلات الترانزستور ثنائية القطب ، بالنسبة للدوائر التى تصبح القيمة العالية لمعاوقة الدخل أمراً حيويًا ، كما فى حالة الاجهزة الالكترونية على سبيل المثال .

وتستخدم ايضا ترانزستورات التأثير المجالى ذات البوابة الموصلة فى صورة بوابة مشتركة وفى صورة مصرف — مشتركة ، علماً بأن الصورة الاخيرة سوف تناقش فى الفصل الثالث عشر .

٩ — ١٠ ترانزستورات التأثير المجالى ذات البوابة المعزولة

يختلف تركيب ترانزستورات التأثير المجالى ذات البوابة المعزولة عن تركيبة وحدات ترانزستور التأثير المجالى ذات الوصلة من حيث أن منطقة البوابة تكون معزولة كهربائياً عن قناة التوصيل . يوضح شكل ٩ — ٩ [١] مقطعاً فى قناة — م لترانزستور التأثير المجالى ذو البوابة المعزولة . وسوف يلاحظ القارئ

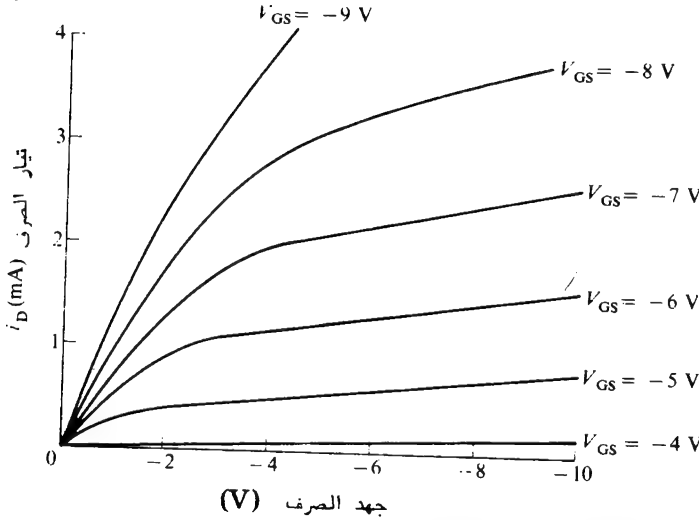


شكل ٩ - ٩ [أ] مقطع في تركيبة قناة - م (أشباه الموصلات الأكس معننية . رمز لـ [ب] ترانزستور التأثير المجالي من اشباه الموصلات الأكس معننية ذو قناة - م [ج] ترانزستور التأثير المجالي من اشباه الموصلات الأكس معننية ذو قناة - م .

أن الكترود البوابة ، والذي يتخذ شكل طبقة من الالومنيوم ، يعزل عن قناة التوصيل في المادة بواسطة طبقة رقيقة جدا من أكسيد السليكون ، « الزجاج » ويكون كل من الكترودى الصرف والمصدر على شكل دلوين من المادة نوع - م المستنشرة في القاعدة السفلية من نوع - م .

ويعزل المصدر عن الصرف عندما تساوى قيمة جهد البوابة - الى - المصدر الصفر ، بحيث يصبح انسياب التيار بينهما مستحيلا . فاذا ما تم تسليط جهد سالب على الكترود البوابة ، تجذب حاملات الشحنة ذات الاقلية نوع - م من القاعدة السفلية نحو الجانب السفلى من الطبقة الاكسيدية والتي تقع تحت الكترود البوابة مباشرة . وعند قيمة معينة لجهد البوابة يعرف باسم **جهد العتبة** V_T ، يكون عددا كافيا من حاملات الشحنة نوع - م قد تراكم أسفل الكترود البوابة ليكون قناة توصيل بين المصدر والصرف وقد وضحت كقناة مستحثة من نوع - م في شكل ٩ - ٩ [أ] . وتقع قيمة الجهد V_T بين $2V - 5V$. فاذا زادت القيمة السالبة لجهد البوابة

عن V_T ، تزداد قيمة تيار الصرف ويوضح شكل ٩ - ١٠ مجموعة تقليدية لخواص ترانزستور التأثير المجالى ذى البوابة المعزولة بالقناة - م .



شكل ٩ - ١٠ المنحنيات المميزة لخروج دائرة مصدر مشترك فى ترانزستور التأثير المجالى - من اشباه الموصلات الاكسي معدنية ذى القناة - م على النسق التذعيمي .

وتعرف مثل هذه النبيلة على انها ترانزستور التأثير المجالى ذات النسق التذعيمي ، حيث تؤدى زيادة جهد البوابة الى زيادة أو تدعيم لتيار الصرف

وسيلاحظ القارئ انه بالنظر الى أن قناة - م قد استحدثت فى النبيلة تحت الاعتبار ، فان الفجوات تستخدم كحاملات للشحنة بين المصدر والصرف . وبالتالي ، يوصل الكثرود المصدر بالقطب الموجب للمصدر وتوصل المصرف بالقطب السالب .

وتصنع حالياً ترانزستورات التأثير المجالى ذات البوابة المعزولة بالقناة - م ، الا أن تكنولوجيا تصنيع نبائط القناة - م تعتبر أكثر تقدماً وكنتيجة لذلك ، يشيع استعمال النوع الاخير بدرجة اوسع . هذا وتعتبر الالكترونيات الرقمية مجالا اساسيا لاستخدام وحدات ترانزستور التأثير المجالى ذات البوابة المعزولة .

سيلاحظ القارئ ايضا من شكل ٩٠ - ٩١ [١] ، أن الجزء بين البوابة والقناة يتكون من تركيبة معدن - اكسيد - شبه موصل . ومن هذا تعرف وحدات ترانزستور التأثير المجالى ذات البوابة المعزولة ايضا باسم وحدات ترانزستور التأثير المجالى من اشباه الموصلات الاكسي معدنية .

وحيث أن طبقة الاكسيد فوق بوابة ترانزستورات التأثير المجالى من اشباه الموصلات الاكسي معدنية تكون رقيقة جدا ، لذلك فمن الممكن أن يتلف

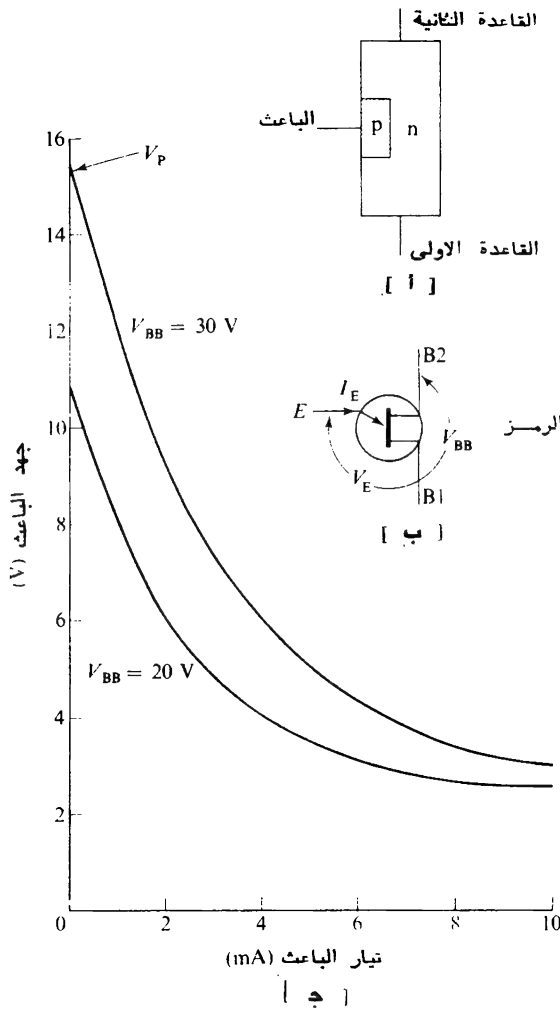
نهائيا عند تسليط جهد منخفض نسبيا عليه. وتقع القيمة المعتادة لجهد الانهيار فى المدى ما بين 30V الى 100V هذا ومن الممكن تسليط مثل هذا القدر من الجهد ببساطة من التداول الشخصى للنبطية ، فليس امرا غير مألوف أن يتراكم فوق الانسان جهود استاتيكية يزيد عن 20 000 V . اذ يمكن توليد جهود استاتيكية بالاحتكاك بين الجلد والاشياء الاخرى مثل الملابس والمواد ومنضدة العمل ، الخ . فحتى مفعول المشى يولد شحنة استاتيكية . وعلاوة على ذلك ، تختزن الشحنة فى جسم الانسان ، لان الجسم يكون معزولا عن الأرض بالحذاء وغطاء الأرض . وكقاعدة عامة تشحن جميع نبائط اشباه الموصلات — الاكس معدنية من المصنع بعد تغطية اطرافها بمطاط موصل بمادة بلاستيك بحيث تكون جميع أطراف الالكترود عند نفس الجهد تقريبا . ولا ينبغى نزع هذه المادة حتى يتم تركيب النبائط فى الدائرة وفى بعض الدوائر المنطقية ، توصل البوابة عن طريق وحدات الدايدود عكسية الانحياز بطبيعتها ، الى كل من الأرض وخط التغذية . فاذا حدث وان وصلت البوابة عن غير قصد الى مصدر جهد استاتيكي ، يصبح واحدا أو اكثر من وحدات الدايدود امامى الانحياز فى الاتجاه الامامى مما يؤدى الى تفريغ مصدر الطاقة الاستاتيكية .

٩ - ١١ ترانزستور احادى التوصيل

لا يعتبر الترانزستور احادى التوصيل ، بصفة قاطعة ، كترانزستور ولكنه دايدود مزدوج القاعدة . ويمكن شرح فكرة عمل النبطية بالرجوع الى شكل ٩ - ١١ ويوضح الرسم [١] من هذا الشكل احدى صور تركيبية الترانزستور اذ يتكون من قضيب من مادة اشباه الموصلات نوع — س مع وصلة م — سى فى اتجاه مركز القضيب وتعرف المنطقة — بباعث الترانزستور احدى التوصيل . وتعرف التوصيلتين الى نهايتى القضيب بالقاعدة الاولى (B1) والقاعدة الثانية (B2) ، على التوالى وفى حالة عدم وجود اشارة عند الباعث ، تقع قيمة المقاومة فيما بين القاعدتين R_{BB} بين B1 و B2 فى المدى من 4 kΩ الى 12 kΩ . ويعرف الجهد بين B1 و B2 بالجهد فيما بين القاعدتين V_{BB} وتقع قيمة الجهد المقاس بين B1 ونقطة دخول الباعث فى القضيب بين $0.4V_{BB}$ و $0.8V_{BB}$ ويعرف معامل V_{BB} المعطى عالياه بالنسبة الذاتية المباعدة ورمزها η .

وعندما تقل قيمة جهد الباعث V_E عن ηV_{BB} ، تكون الوصلة م — سى بين الباعث والقضيب عكسية الانحياز ، ولا يمر فى الباعث سوى تيار تسرب ضئيل جدا . وعند زيادة جهد الباعث الى النقطة التى تصبح عندها الوصلة م — سى امامية الانحياز ، تقل المقاومة بين الباعث و B1 الى قيمة منخفضة . ويعرف هذا الجهد فى هذه الحالة بجهد النقطة الذروية V_P ، والذي يوضحه شكل ٩ - ١١ [ج] على منحنى الخواص . ويبين الشكل ايضا الخواص عند قيمتين للجهد V_{BB} وفى كل حالة .

$$V_P \approx \eta V_{BB}$$

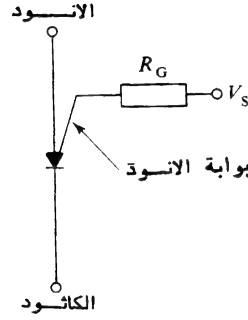


شكل ٩ - ١١ الترانزستور احدى التوصيل [ا] احدى صور التركيب ، [ب] رمز الدائرة و [ج] منحنيات الخواص الاساسية

يستخدم الترانزستور احدى التوصيل بكثرة كمكثف تفريغ وفي الدوائر الميقاتية وفي مولدات النبضات [انظر ايضا الفصل الثالث عشر] .

٩ - ١٢ الترانزستور احدى التوصيل القابل للبرمجة (PUT)

في الحقيقة ، ليس الترانزستور احدى التوصيل القابل للبرمجة ، بسيطة اخرى من النوع الموضح عاليه في الفصل ٩ - ١١ ، ولكنه ثايرستور منخفض القدرة يستخدم للاغراض العامة [انظر ايضا الفصل الخامس عشر] ، وتشبه خواص هذه البسيطة بصفة اجمالية الخواص الموضحة في شكل ٩ - ١١ . وعند مقارنته بالترانزستور احدى التوصيل التقليدي فانه يعطى عدة مميزات تشمل امكانية تغير قيمة η [اي قابل للبرمجة] ، وتيار تسرب منخفض القيمة وجهد انهيار مرتفع القيمة .



شكل ٩ - ١٢ رمز دائرة الترانزستور احادى التوصيل قابل للبرمجة .

يوضح شكل ٩ - ١٢ الرمز المستخدم لدائرة الترانزستور احادى التوصيل القابل للبرمجة . ويشترك مع انواع نبائط الثايرستور فى انه نبطية من اشباه الموصلات ومن اربع طبقات نوع م - س - م - س ، وان التيار فى حالة مروره ينساب من الانود الى الكاثود ويحكم او يبرمج مقدار الجهد الانود الذى يبدأ التوصيل عنده بواسطة الجهد V_S المسلط على بوابة الانود . وبهذه الكيفية ، يمارس التحكم من خلال القيمة الفعالة

٩ - ١٣ نظم ترقيم النبطه

توجد أنظمة كثيرة لترقيم نبائط اشباه الموصلات وستوضح النظم الاساسية منها فيما يلى :

كان النظام الاوروبى القديم مبنيا على الصمام الثرميونى وتعتبر المجموعة الاولى من الارقام عن جهد المسخن ، وبالنظر لان اشباه الموصلات لا تحتاج الى تسخين ، فالقيمة المعطاة لهذه المجموعة ينبغى ان تكون صفرا .

ويوضح نوع النبطه بالحروف الابجدية - «A» للدايود [صمام ثنائى] ، C للصمام الثلاثى ... الخ . توجد ايضا حروف اضافية مثل «P» للتأثير الضوئى او لنبائط الاشعاع الحساسة للضوء و «R» للمقاومة الضوئية للمواد شبه الموصلة ... الخ . هذا ويعطى المجموعة الاخيرة من الارقام رتبة تسجيل النبطه . وهكذا ، فان 28 OC هى نبطه صمام ثلاثى شبه موصل ، أى ترانزستور برقم تسجيلى 28 .

أما النظام الاوروبى الحديث أو نظام بروالكترون

PRO Electron System فان النبائط تعرف بحرفين يعقبهما اعداد مسلسلة وقد تتكون الاعداد المسلسلة من ثلاثة ارقام او من حرف واحد ورقمين ويفسر الحرفين الاولين كما يلى :

الحرف الاول يشير الى نوع المادة المستخدمة :

- A — جرمانيوم
- B — سليكون
- C — زرنخيد الجاليوم
- D — ايتيمونيد الانديوم
- R — نبائط لا تحتوى على وصلة مثل خلية المقاومة الضوئية .

ويوضح الحرف الثانى التطبيقات العامة للنبائط :

- A — دايود اشارة
- B — دايود متغير السعة
- C — ترانزستور ترددات سمعية منخفض القدرة
- D — ترانزستور قدرة للترددات السمعية
- E — وصلة ثنائية نفقية
- F — ترانزستور ترددات اللاسلكى | راديو | منخفض القدرة
- G — نبائط متعددة غير متشابهة
- L — ترانزستور قدرة للترددات اللاسلكية
- N — رابط ضوئى
- P — نبیطة حساسة للاشعاع .
- Q — نبیطة توليد الاشعاعات اى دايود الانبعاث الضوئى
- R — نبیطة تحكم منخفضة القدرة
- S — ترانزستور اىصال — فصل منخفض القدرة
- T — نبیطة لاىصال — فصل منخفض القدرة
- U — ترانزستور قدرة لاىصال — فصل
- X — دايود مضاعف
- Y — دايود قدرة
- Z — دايود زينار

وتحوى الاعداد المسلسلة ثلاثة ارقام، اى BC147 و BF194 عندما يقصد استخدام النبائط للاغراض الاستهلاكية اى الراديو والتلفزيون والمعدات السمعية ... الخ . اما عندما يقصد استخدام النبائط فى الصناعة والاعمال المتخصصة وفى معدات الارسال ، فانها تعرف برقم مسلسل يتكون من حرف واحد ورقمين مثل BFX30 و BSS27 .

ويهيىء نظام البروالكترون ايضا وسيلة لتعريف المجموعات الفرعية باضافة عدد مسلسل آخر بحيث يفصله عن العدد الرئيسى الاول شرطه . فعلى سبيل المثال ، تعرف النبیطة تحت رقم BTY79-600R على انها ثايرستور سلكونى ، تحت رقم تسجيل Y79 ، قيمة اقصى ذروة للجهد العكسى المتكرر هى 600V . ويشير الرمز «R» الى التوصيلة العكسية للنبیطة اى ان الفتوء هو انود الثايرستور .

وترقم معظم نبائط أشباه الموصلات الأمريكية تبعا لنظام JEDEC [المجلس المشترك لمهندسي النبائط الالكترونية] . وفى هذا النظام يعطى الرقم الاول عدد الوصلات م — س فى النبيلة أى «I» للدايود ، «2» للترانزستور التقليدي ثنائى القطب و «3» للثايرستور ولترانزستور الباعث المزدوج . . . الخ. ويتبع هذا الرقم الحرف «N» ثم رقم التسجيل . فالنبيلة التى أرقامها 2N2927 هى ترانزستور ذو وصلتين ثنائيتين ، وكان قد سجل برقم 2927 .

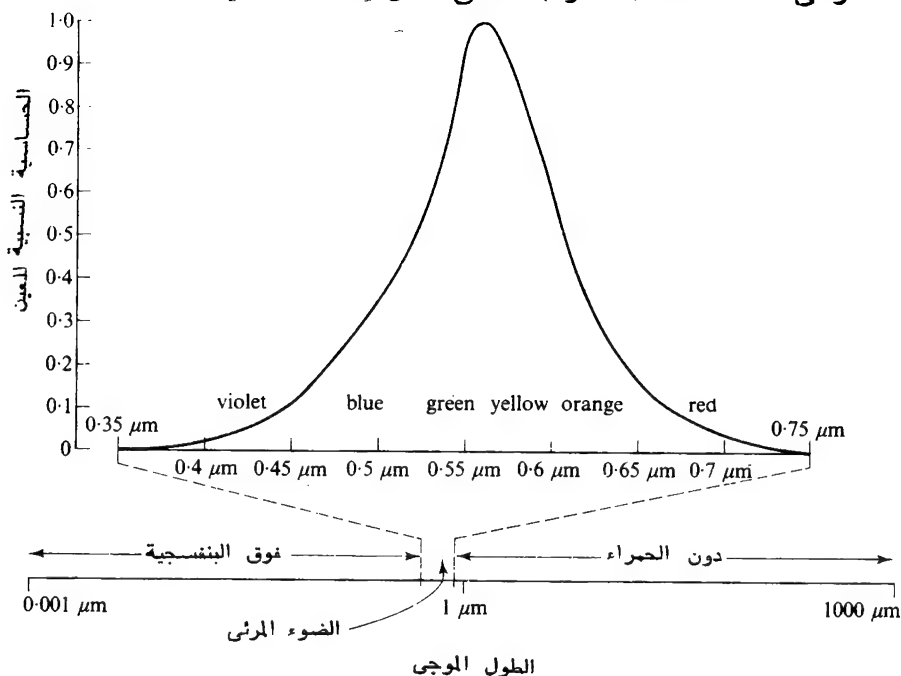
الفصل العاشر

الالكترونيات الضوئية

يطلق اسم الالكترونيات الضوئية على عدد كبير من النبائط الحساسة للضوء [ولاشعاعات اخرى] ، ونبائط الابعاث الضوئى [أى نبائط مشعة للضوء واشعاعات اخرى قريبة من الاشعاعات المرئية] .

١٠ - ١ الطيف الكهرومغناطيسى المرئى

تتشترك كل من الاشعة الضوئية واشعة الراديو والتليفزيون واشعة اكس والاشعة الكونية فى انها جميعا اشعاعات كهرومغناطيسية . ويمتد الطول الموجى للضوء المرئى من حوالى $0.35 \mu m$ [بنفسجى] الى حوالى $0.75 \mu m$ [احمر] كما فى شكل [١٠ - ١] .



شكل ١٠ - ١ اقطاع يوضح العلاقة بين طيف الاشعاع والحساسية النسبية لعين الانسان

وتعرف الأطوال الموجية الأقصر من $m \ 0.35$ بالأشعاعات فوق البنفسجية وتعرف الموجات الأطول من $m \ 0.75$ بالأشعاعات دون الحمراء .

العين ، كما هو الحال مع الكواشف الأخرى للأشعاعات ، غير متساوية الحساسية بالنسبة لجميع الترددات وهي أكثر حساسية للون الذى يبلغ طوله الموجى حوالى $m \ 0.55$ ويوضح شكل ١٠ - ١ المنحنيات التى تبين حساسية العين التقريبية للأشعاعات الواقعة فى الطيف المرئى . ويستطيع اللون الذى نراه حقيقة فى بعض اللحظات ان يخدعنا . ولناخذ فى الاعتبار حالة مصباح فتيلة التانجستون المتوهجة . حيث يشمل خرج هذا النوع من المصابيح كل الأطوال الموجية المرئية ولكن معظم قدرة الخرج تقع فى المناطق الحمراء او دون الحمراء والاخيرة غير مرئية . وتقوم العين بالدور الذى يؤدى الى اخراج حل وسط ، لذلك يظهر المصباح للانسان بلون فى منطقة الاصفر - احمر من الطيف .

وتقع اكبر استجابة لبعض انواع كاشفات الاشعاع فى المنطقة دون الحمراء وتستخدم حيث تكون هذه الخاصية ذات فائدة ، وعلى سبيل المثال فى نظم كشف اخفاق شعلة الغلاية وفى نظم الانذار ضد السرقات وفى الطيران وفى نظم الصواريخ الموجهة .

ان السرعة التى تتحرك بها الموجات الكهرومغناطيسية فى الفراغ هى $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ أو 1800 miles/S | وتقرب جدا من $\frac{1}{3} \text{ m}/\mu\text{s}$ ($1 \text{ ft}/\mu\text{s}$) ويمكن الحصول على تردد الاشعاع بالهرتز من المعادلة

$$\text{التردد } f = \frac{3 \times 10^8}{\text{الطول الموجى بالمتر}} \text{ هرتز}$$

وكمثال ، التردد لطول موجى قدره $0.75 \mu\text{m}$ هو

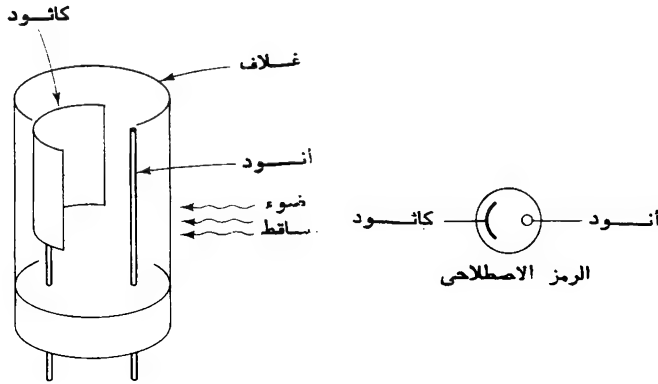
$$f = \frac{3 \times 10^8}{0.75 \times 10^{-6}} = 4 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

١٠-٢ خلايا الانبعاث الضوئى (الخلايا الضوئية)

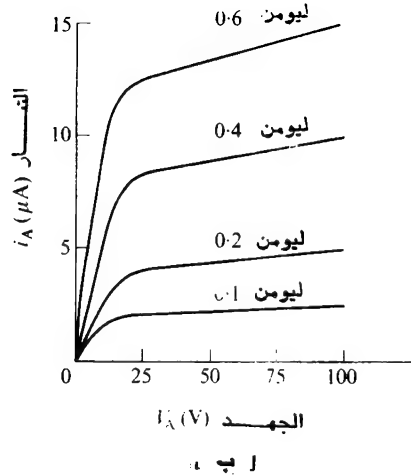
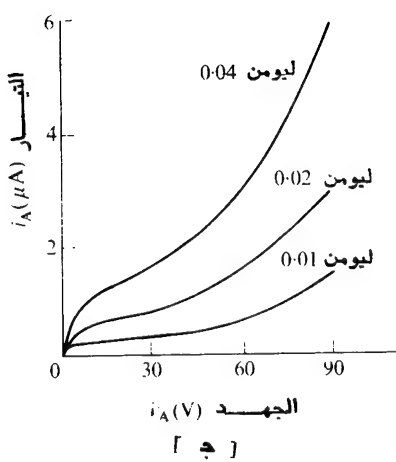
للخلية الباعثة لالكترونات تحت تأثير الضوء أو للصمام الضوئى ، كاثود يبعث الالكترونات بطلاقة ، عند تعرضه لأشعاع بالتردد الصحيح ويوضح شكل ١٠ - ٢ | تركيب واحدة من هذه الخلايا الضوئية . والكاثود مساحة كبيرة لكي يستقبل الاشعة الساقطة ، أما الانود فهو ببساطة عبارة عن قضيب . يتوقف التردد الذى تصبح عنده استجابة النبيلة اكبر ما يمكن على المادة المصنوع منها الكاثود . فلبعض المواد استجابة طفيفة قريبة من استجابة عين الانسان بينما للبعض الاخر فائدة اكثر فى المنطقة دون الحمراء .

ويتم تشغيل الخلية بجهد موجب للأنود كما هو موضح فى شكل ١٠ - ٣ وتجمع الإلكترونات المنبعثة من الكاثود المعرض للضوء بواسطة الأنود . ويؤدى أى تغير فى شدة الإضاءة الى تغير التيار المناسب خلال الخلية . ويؤدى هذا بدوره الى تغير الجهد بين طرفى المقاومة R ، ويكبر هذا الجهد بدائرة الكترونية مناسبة ليعطى اشارة مرتبطة بشدة الإضاءة .

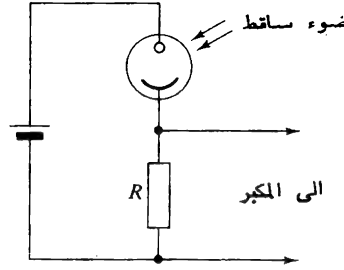
ويوضع الكاثود والآنود داخل غلاف من الزجاج او الكوارتز ، قد يكون مفرغا او ممتلئا بالغاز .



[١٠]



شكل ١٠ - ٢ [أ] احدى صور الخلايا الضوئية . التحتيات المبينة فى [ب] للصمامات المفرغة وفى [ج] للصمامات المملوءة بالغاز .



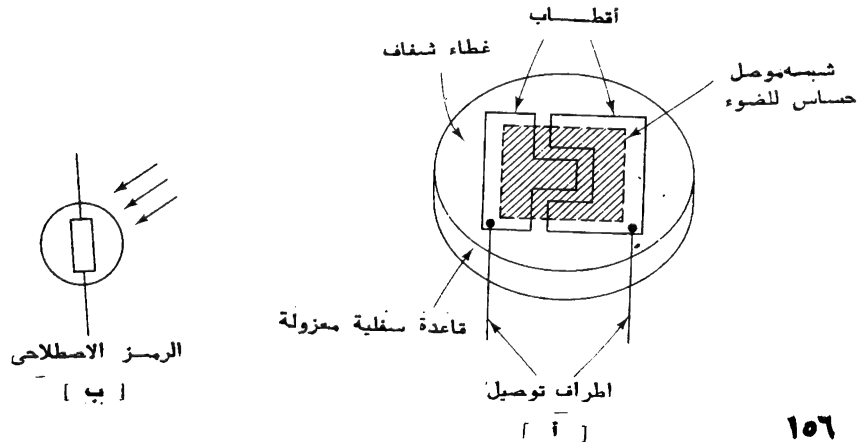
شكل ١٠ - ٢ دائرة تستخدم خلية ضوئية .

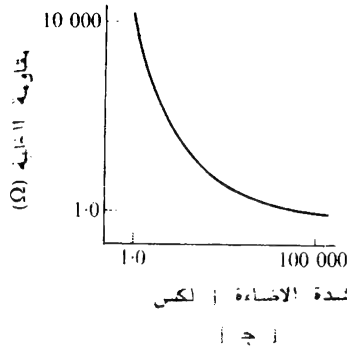
تكبر حساسية الخلايا الغازية ، بالنسبة للاشعة الضوئية ، حساسية الخلايا المفرغة بحوالى سبع الى تسع مرات ، وتبدأ الحساسية النسبية للخلايا الغازية فى الانخفاض بمعدل سريع عند تغير اعلى من حوالى 2 KHz لتردد الضوء . ويوضح شكلا ١٠ - ٢ [ب] و [ج] ، الخواص الاستاتيكية لخليتين ضوئيتين متماثلتين ، احدهما غازية والاخرى مفرغة . وعند هذا الحد . يجب الانغفل ذكر شيء عن وحدات الاضاءة فالفيض الضوئى هو كمية الطاقة الكلية للاشعة الضوئية المرئية المنبعثة من مصدر ضوئى فى وحدة الزمن ، والليومن هو وحدة قياس الفيض على احد المحورين [انظر شكل ١٠ - ٢] [ج] ، علما بأن وحدة الاضاءة هى لكس وهى تساوى ليومين للمتر المربع .

وتستخدم الخلايا الضوئية منذ بداية اكتشاف الالكترونات على نطاق واسع فى أنظمة صناعية متعددة وقياسات [أجهزة قياس] . ومع ذلك فقد حل محل هذه الخلايا فى مجالات كثيرة نبائط اخرى ستوضح فيما يلى :

١٠ - ٣ خلايا التوصيل الضوئى

كما استعرض فى الجزء الاول من الكتاب ، عندها تمتص مادة شبه موصلة ذاتيا كمية من الطاقة ، فان ازواجا من الالكترونات والفجوات تتولد داخلها بصفة تلقائية . فاذا زيدت كمية الطاقة الممتصة فان عدد ازواج الالكترونات والفجوات الحرة تزداد . ويكون التأثير النهائى على المادة هو





شكل ١٠ - ٤ | أ | تركيب خلية توصيل صوتي | ب | رمز الخلية | ج | منحني الخواص النموذجي لخلية توصيل صوتي

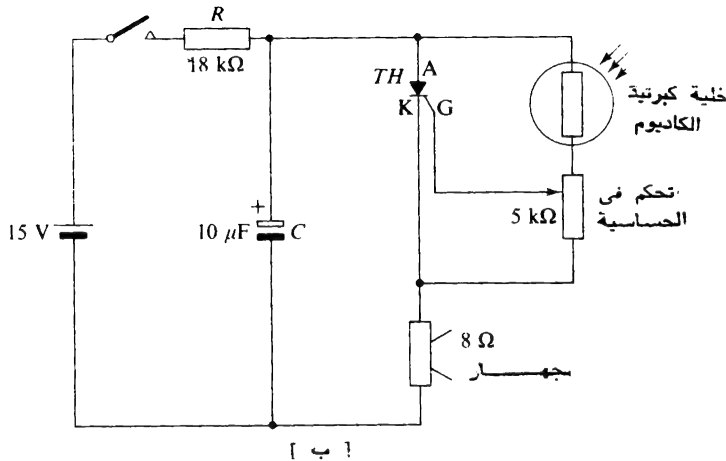
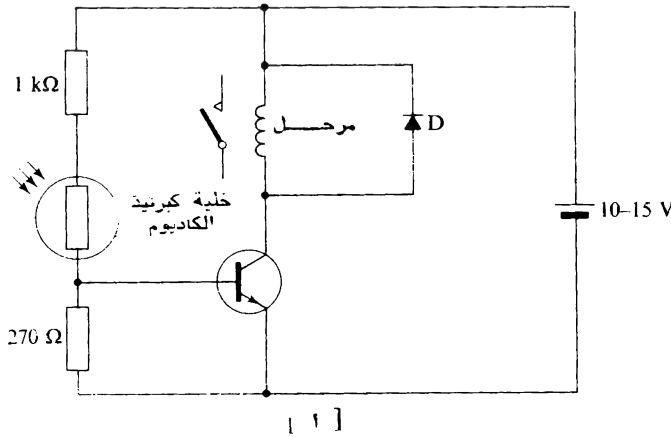
زيادة موصليتها او نقص في مقاومتها الكهربائية . ومصدر الطاقة في خلايا التوصيل الضوئي هو الضوء والاشعاعات القريبة من المرئية .

نستعمل المادة الشبه موصلة كبريتيد الكاديوم (CdS) على نطاق واسع في خلايا التوصيل الضوئي ولها استجابة طيفية توائم بالنقرير عين الانسان وتستخدم خلايا كبريتيد الكاديوم في التطبيقات التي تمكن الانسان من حساب مستويات الاضاءة وعلى سبيل المثال في دوائر التحكم الضوئية ودوائر كشف الدخان ... الخ . ولمواد شبه موصلة اخرى مثل كبريتيد الرصاص وانتمويند الانديوم حساسية أكثر للاشعاعات المحتوية على نسبة عالية من الاشعة دون الحمراء .

ويوضح شكل ١٠ - ٤ | أ | تركيب شكل واحدة من خلايا كبريتيد الكاديوم ويقع قطر الخلية عادة في المدى من 1 cm الى 0.4 in 2.5 cm الى 1.1 in والجزء الفعال من الخلية هو عبارة عن غشاء | فيلم | من مادة شبه موصلة موضوعة فوق قطبين يشبه كل منهما شكل المرحلة وجميعها بداخل غلاف شفاف . ويوضح الشكل ١٠ - ٤ | ج | منحني خواص هذه الخلية ، وتغير مقاومة الخلية من قيمة تزيد عن 100 kΩ في الظلام الى حوالي 1 Ω عند الاضاءة الكاملة .

ويوضح شكل ١٠ - ٥ دائرتين يستخدم فيهما كبريتيد الكاديوم مثل ORP12 وفي الشكل ١٠ - ٥ | أ | . تستخدم الخلية في دائرة انحياز مكبر الترحيل | الريلاي | ويكون مقاومة الخلية عالية عندما تكون غير مضاءة . في هذه الحالة ، تكون قيمة تيار القاعدة من الناحية الواقعية مساوية للصفر ويكون المرحل في حالة عدم تشغيل . وعند اضاءة الخلية تنخفض مقاومتها الى قيمة صغيرة وهذا يسمح لكل من تيار القاعدة والمجمع بالازدياد حتى يغذي المرحل بالطاقة وتغلق الدائرة عندما تتلامس اطرافه . ومهمة عمل الدايدود D المنفرد توازياً مع ملف المرحل هو وقاية الترانزستور من زيادة عابرة للجهد عند انخفاض تيار الملف بطريقة مفاجئة نتيجة لانخفاض مفاجيء في مستوى الاضاءة .

وتستخدم إشارة الخطر — الضوئية المبينة في شكل ١٠ — ٥ [ب] ،
 نبضة لم تنعرض لها حتى الآن . وهذه النبضة هي الثايرستور والمبينة بالرمز
 TH في الدائرة . وسنعطي هنا بيانا مختصرا عن عمل النبضة . وسنتعرض
 لها بتفصيل أكثر في الفصل الخامس عشر . الثايرستور هو نبضة توصيل
 وفصل [مفتاح] شبه موصل تنخفض قيمة مقاومتها بين الأنود والكاثود ،
 [موضحة بالرمز A و K في الشكل] عند تسليط تيار على البوابة كما
 هو موضح بالرمز G في الشكل . ويمكن لهذه النبضة أن تفصل بمجرد
 انقاص تيار الأنود إلى قيمة منخفضة جدا [أقل من حوالي 1-2 mA] .
 ومهمة الثايرستور في الدائرة المبينة بشكل ١٠ — ٥ [ب] ، هي تفريغ
 المكثفات بصفة دورية وتعمل الدائرة بالطريقة التالية . تكون مقاومة خلية
 كبريتيد الكاديوم عالية عند عدم إضاءتها ويكون الجهد المسلط على بوابة
 الثايرستور من الناحية الواقعية عديم القيمة . ونتيجة لذلك لا ينطلق
 الثايرستور إلى التوصيل في حالة الظلام ويشحن المكثف إلى القيمة النهائية



شكل ١٠ — ٥ تطبيقات خلايا التوصيل الضوئي [١] دائرة مكرر لمرحلل و [ب] جهاز إنذار ضوئي .

لجهد المصدر . وعند سقوط الضوء على خلية كبريتيد الكاديوم . تنخفض المقاومة وينساب التيار فى بوابة الثايرستور . عند حدوث ذلك يبدأ الثايرستور فى التوصيل ويسبب تفريغ المكثف بمعدل سريع خلال الجهار مما يؤدى الى احداث طقطقة . وبمجرد ان ينتهى المكثف من التفريغ . تنفخ قيمة التيار المسار فى الثايرستور الى مستوى اقل من القيمة القابضة عندما يتوقف عن التوصيل . بعد ذلك . يبدأ المكثف فى الشحن من جديد خلال المقاومة R . عندما يصل الجهد بين طرفى المكثف الى قيمة كبيرة بدرجة كافية . فان التيار المنساب خلال خلية كبريتيد الكاديوم الثايرستور للتوصل من جديد ويفرغ المكثف مرة اخرى . ويصدر طقطقة اخرى فى الجهار وهكذا تصل الاضاءة الى مستوى معين يعطى الجهار سلسلة من الطقطقات ومن الممكن ان يتغير معدل تكرار الطقطقة بتغير قيمة المقاومة R او المكثف C كما يمكن ضبط حساسية الدائرة للاضاءة بواسطة مقياس الجهد $5k\Omega$. ويجب الاهتمام والتأكد من ان قيمة جهد المصدر لا تزيد عن معدل جهد المكثف .

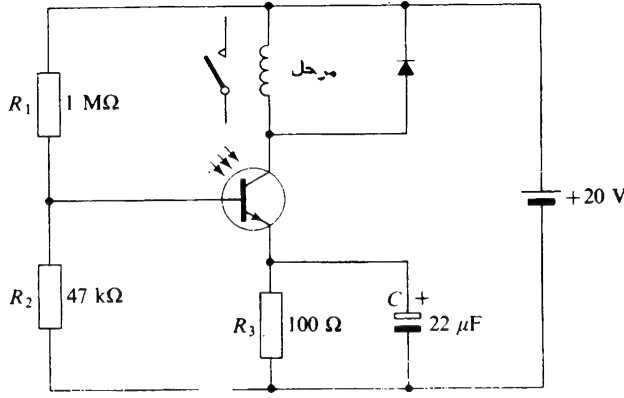
١٠ - ٤ وحدات الدايدود الضوئية

الدايدود الضوئى هو وصلة ثنائية م - س داخل غلاف به فتحة او عدسة لكي تسمح بسقوط الضوء على الوصلة م - س . ويتم تشغيل وحدات الدايدود هذه تحت حالات الانحياز العكسى . بحيث يمر مجرد تيار صغير جدا خلال الدايدود عندما ينخفض مستوى الاضاءة - وعند زيادة شدة الاضاءة يزداد انسياب تيار التسرب للدايدود . ويستخدم تيار التسرب هذا لبيان شدة الاضاءة الواقعة على الدايدود .

ومن الجدير بالذكر . ان وحدات الدايدود الضوئية حساسة لكل من الاشعاعات المرئية والاشعاعات القريبة من دون الحمراء . وتستجيب هذه التباطط للضوء الذى يضمن او تغير شدته عند ترددات عالية جدا .

١٠ - ٥ الترانزستور الضوئى

تعرض منطقة القاعدة للترانزستور الضوئى ثنائى القطب للاضاءة الساقطة فتحرر هذه الطاقة الضوئية حاملات الشحنة فى منطقة القاعدة ، فيزداد تيار القاعدة نتيجة لهذا التأثير . ويزداد تيار مجمع الترانزستور بازدياد شدة الاضاءة وتبلغ حساسية الترانزستور الضوئى المستخدم للاغراض العامة حوالى 500 mA لكل لومين . وبالإضافة الى ذلك ، يمكن استخدام التوصيل بمنطقة القاعدة لاغراض الانحياز كما هو موضح فى شكل ١ - ٦ .



شكل ١٠ - ٦ دائرة ترانزستور ضوئي للتحكم في المرحل الرىلى

والدائرة الموضحة فى الشكل السابق هى من دوائر المرحلات المحرّضة ضوئياً والتي تستخدم مفترقان . فى هذه الدائرة تستخدم المقاومات R_1 و R_2 مع المكثف C لأغراض الانحياز والاستقرار الحرارى ، وسيوضح فى الفصل الحادى عشر لزوم استخدام هذه المكونات . وعندما ينخفض مستوى الإضاءة تصبح قيمة التيار خلال ملف المرحل صغير ويظل طرفا المرحل غير متلامسين . وعند ارتفاع مستوى الإضاءة : يزداد تيار الترانزستور الى قيمة تؤدى الى اغلاق المرحل . ومن الممكن استخدام ترانزستور BPX25 الذى يحتوى على عدسات مركبة داخل الغطاء المحيط لتتركيز الضوء ويعتبر BPX29 ترانزستور مكافئاً كبديل آخر به شبك واضح ويوصل الدايمود على التوازي مع ملف المرحل لوقاية الترانزستور من الجهود العابرة عندما تتغير قيمة تيار المجمع بمعدل سريع لانخفاض مستوى الإضاءة فجأة .

وبتصنيع بادة عزل البوابة للترانزستور ذى التأثير الجالى (FET) بالبوابة المعزولة بحيث تكون شفافة للضوء ، فان الطاقة الضوئية تمر الى القاعدة السفلية وتؤدى الى تحديد حاملات الشحنة من القاعدة السفلية . وهذا يؤثر فى ازدياد موصلية قناة التوصيل التى بين المصدر والبالوعة مما يؤدى الى ان يصبح تيار المجمع مرتبطاً بشدة الإضاءة .

١٠ - ٦ وحدات الثايرستور الضوئية

لعلك تذكر ان الثايرستور الذى سبق وتعرضنا له باختصار فى الجزء ١٠ - ٣ ما هو نبيلة الكترونية تستخدم للتوصيل الكهربائى عند تسليط تيار دفعى الى قطب بوابتها . تنطلق وحدات الثايرستور الضوئية للتوصيل عند السماح للضوء الساقط ان يقع على منطقة البوابة لهذه النبيلة .

١٠ - ٧ خلايا الجهد الضوئية أو الخلايا الشمسية

عند تعرض دايود ضوئي معزول للضوء . تظهر ق.د.ك بين طرفيه ، أى أن . الدايدود قد حول الطاقة الضوئية مباشرة الى طاقة كهربائية . وعند استخدام الدايدود الضوئي على هذا المنوال فانها تعرف باسم خلية الجهد الضوئية أو الخلية الشمسية . يمكن توليد جهود تصل الى 0.5 V لكل خلية بهذه الطريقة .

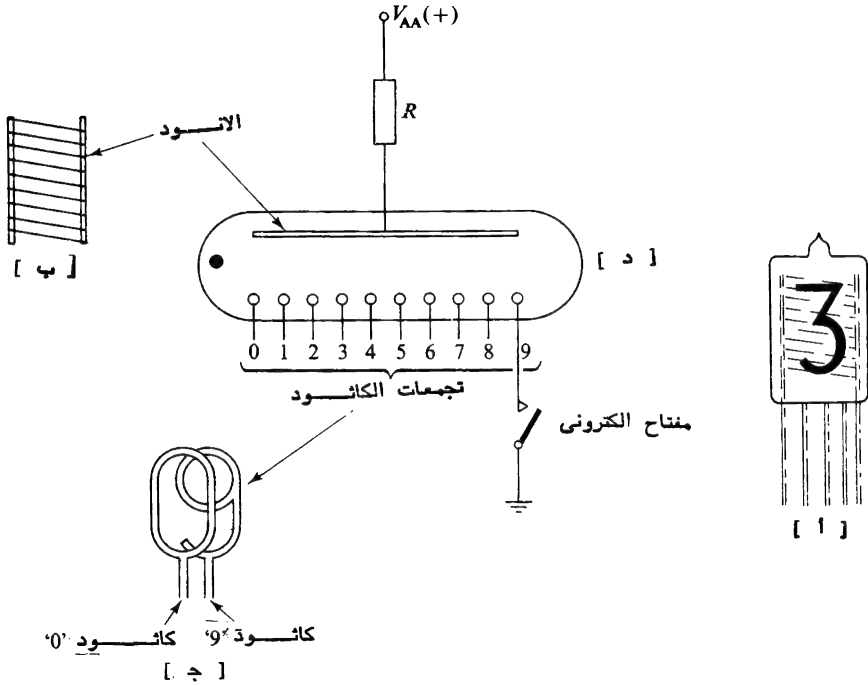
وتشمل تطبيقات خلايا الجهد الضوئية مقاييس مدة التعرض الفوتوغرافى للضوء والشريط المخرم وقارئات البطاقات وتطبيقات الفضاء .

١٠ - ٨ نبائط الانبعاث الالكترونى بتأثير الضوء

سبق ان ناقشنا فى الاجزاء السابقة نطاقا كبيرا من النبائط الحساسة للضوء ونوجه انتباه القارئ الان الى نبائط الانبعاث بتأثير الضوء التى تحول الطاقة الكهربائية الى طاقة ضوئية . اذ يمتد مجال هذه النبائط ابتداء من الفتيلة ونيون العرض ووحدات دايود القذف الضوئي . وسوف نتعرض ايضا لوصف مبيئات السائل البلورى بالرغم من عدم كونها وسائل عرض بتأثير انبعاث الضوء .

١٠ - ٩ ادوات عرض الكاثود البارد (الفازية)

يعتبر صمام الكاثود البارد الغازى واحدا من الانواع الشائعة من صمامات المبين الرقمية ويوضح شكل ١٠ - ٧ | أ | نوعا من التركيبات المتبعة . اذ يضم الصمام انودا على شكل الشبكة السلكية من النوع المبين فى شكل ١٠ - ٧ | ب | والذي يوصل الى جهد الموجب للمصدر V_{AA} عن طريق المقاومة R | انظر شكل ١٠ - ٧ | د | . ويكاد انود الشبكة السلكية ان يكون مرئيا فى احوال التشغيل العادية . وتصطف تجمعات الكاثود على شاكلة الارقام 0,1,2,...,7,8,9 كل على حده وراء بعضها البعض كما هو موضح بالرسم | ج | . ويتم تثبيت الانود وتجمعات الكاثود داخل غلاف زجاجى ممتلىء بالغاز ، مع وضع نقطة عند نهاية الطرف الايسر لرمز دائرة | الرسم د | للاشارة الى حقيقة امتلاء الصمام بالغاز ، ويستعمل غاز النيون حتى يعطى اللون الاحمر - القرنفلى المميز للكاثود المضاء . هذا وبضياء كاثود واحد فقط لكل مرة بتوصيله بخط جهد الصفر عن طريق مفتاح الكترونى متصل كما فى شكل ١٠ - ٧ | د | بالقطب رقم 9 .



شكل ١٠ - ٧ صمام عرض رقمي مملوء بالفاز

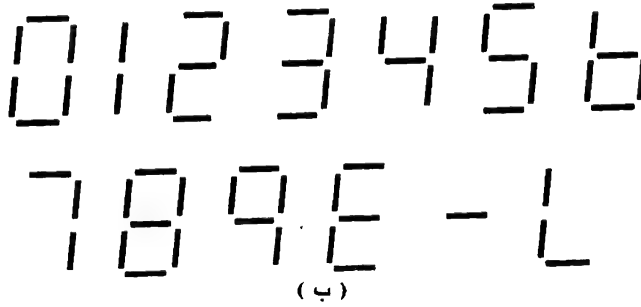
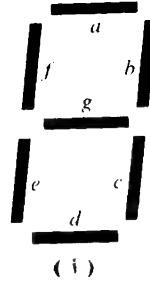
وعندما يضاء واحد من تجميعات الكاثود ، ينخفض فرق الجهد بين طرفي الصمام الى قيمة من الجهد تعرف باسم جهد المداومة للصمام وهو يبلغ عادة 150V علما بأن قيمة الجهد V_{AA} تقع في المدى ما بين 180V أو 300V أما القيم المعتادة للمقاومة R بالنسبة للقيم المختلفة للجهد V_{AA} فهي 16 k Ω مع 180V و 33 k Ω مع 250V و 47 k Ω مع 300V

وعيوب مثل هذا النوع من وسائل العرض ، بالمقارنة مع بعض الانواع الاخرى ، هي :

- [أ] صغر زاوية المشاهدة
- [ب] الحاجة الى قيمة عالية لجهد الانود
- [ج] تتراقص الارقام أماما وخلفا عند تغير الارقام السريع اثناء تتابع عملية العد .

١٠ - ١٠ فتائل عرض الارقام

ان اكثر انواع فتائل العرض شيوعا والتي تستعمل مع المعدات والحاسبات الالكترونية هي وسائل عرض الشرائح السبع والتي تتضمن سبع فتائل منفصلة من a الى g كما في شكل ١٠ - ٨ [أ] . وتكتب هذه الفتائل على لوحة متماسكة داخل غلاف زجاجي .



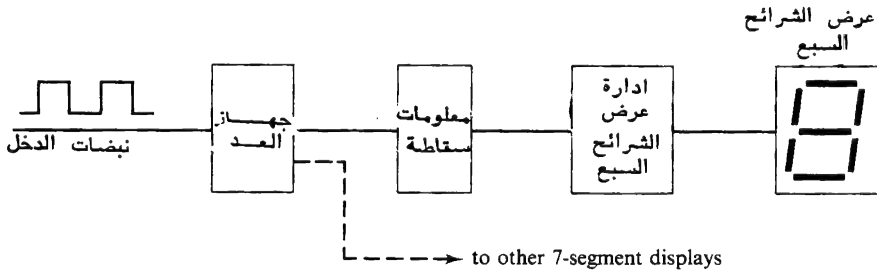
شكل ١٠ - ٨ أساسى للعرض الرقمى بسبع شرائح .

يمكن الحصول على عروض مختلفة باضاءة مجموعة من هذه الفتائل [انظر شكل ١٠ - ٨] ب . ا . فالعشرة أشكال الاولى خاصة بالارقام العشرية من 0 الى g . ويستخدم رمز الحرف E أحيانا كرمز تحذير فى الحسابات الالكترونية ليوضح أن العمليات المجراة خارجة عن نطاق هذا المقياس . ومن الممكن ايضا تكوين حروف ابجدية اخرى مثل حرف L اذا اضيئت القطع f و e و d . ويمكن استخدام حالة العرض الاخيرة L لتبيان أن جهد المنبع منخفض بالنسبة للمعدات . تعطى اضاءة القطعة g بمفردها إشارة سالبة .

والابعاد القياسية لفتائل العرض تتمثل فى ارتفاع من 6 — 20 mm (0.4 — 0.6 in) ويمكن ان يتم تشغيلها على جهود فى المدى ما بين 4 v الى 6 v كما ان تيار السحب تقل قيمته عن حوالى 10 mA ويمكن تشغيل هذا هذا النوع من وسائل العرض مباشرة بنظم منطقية رخيصة التكاليف وتصنع وسائل العروض الكبيرة بارتفاع يبدأ من حوالى 100 الى 200 mm 2.5 الى 5 in وتعمل على جهد تبلغ قيمته حوالى 15 v .

ويوضح شكل ١٠ - ٩ الدائرة الاساسية اللازمة لعرض رقم بمفرده باستخدام نبيلة الشرائح السبع القارئة . وتستخدم الدائرة لعدد توليد النبضات من مصدر اشارات من الممكن ان يوضع ، مثلا ، على خط انتاج . ويعرض رقم النبضات الناتج على صمام الشرائح السبع . وتعتبر الدائرة المبينة أساسا لأشكال متعددة من عروض الشرائح السبع مثل وسائل عرض

وحدات دايود القذف الضوئى [انظر الجزء ١٠ - ١١] أما النبيلة المكتوب عليها معلومات سقاطه (data latch) فهي نبيلة اختيارية زائدة وليست ضرورية لعمل النظام. انها نبيلة تختزن معلومات الحالة السابقة للعداد خلال الزمن الذى تعد فيه الدائرة مجموعة الانتاج التالية . لذلك فانها تسمح للقيم السابقة أن تحسب لتعطى عرضا مستقرا أو عرضا بضوء غير وامنض لحين أن تكتمل مجموعة الانتاج التالية .



شكل ١٠ - ٩ فكرة نظام عرض رقم مفرد بسبع شرائح .

وبعد اتمام مجموعة الانتاج ، يولد العداد نبضة لتسمح لقيم جديدة أن تحول الى معلومات سقاطة يمكن أن تعرض حينئذ على الصمام ويمكن للعداد حينئذ أن يبدأ مباشرة إعادة عملية العد لمجموعة الانتاج التالية . ولكى يمر تيار مناسب لتشغيل الفتائل تلحق دائرة تعرف بمشغل الشرائح السبع بين الدائرة المنطقية ونبيلة العرض .

ومن سمات هذا النوع من نبائط العرض انه بالنظر الى انبساط السطح المركب فان زاوية المشاهدة عريضة وفى حدود 150° .

١٠ - ١١ دايود الانبعاث الضوئى (LED)

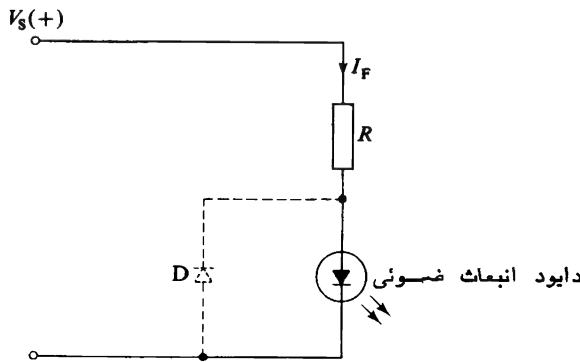
دايود الانبعاث الضوئى هو وصلة ثنائية من مادة شبه موصلة تبعث ضوءا مرئيا ، عندما تكون أمامية الانحياز . ويعتمد اللون المشع على نوع المادة المستخدمة فى تصنيع النبيلة ، واللون المألوف هو الاحمر ، والبرتقالى والاصفر والاخضر ، وتشمل المواد التى تصنع منها دايود الانبعاث الضوئى فوسفيد الجاليوم وارزينيد فوسفيد الجاليوم . وتستخدم عروض دايود الانبعاث الضوئى فى الحاسبات اليدوية والمعدات المثقلة المشابهة .

ويوضح شكل ١٠ - ١٠ الدائرة الاساسية لدايود انبعاث ضوئى . تحسب قيمة مقاومة الحد من التيار R من المعادلة

$$R = \frac{V_S - V_F}{I_F}$$

حيث V_s هي قيمة جهد المصدر و V_F هي فرق الجهد الامامي عبر دايود الانبعاث الضوئي و I_F هو التيار الامامي للدايود . وتعتمد قيمة V_F و I_F على نوع الدايود وتقع في الحدود $2-2.5\text{ V}$ و $5-25\text{ mA}$ على الترتيب بالنسبة للون الاحمر اما بالنسبة لوجدتي دايود الانبعاث الضوئي الاخضر والاصفر فانها تقع في الحدود $2.5-3.5\text{ V}$ و $10-40\text{ mA}$ وبالنسبة الى دايود يعمل على مصدر بجهد 5 V مع تيار امامي قدره 10 mA و فرق جهد امامي قدره 2.5 V فان قيمة R هي

$$R = \frac{5 - 2.5}{10 \times 10^{-3}} = 0.25 \times 10^3 = 250 \Omega$$



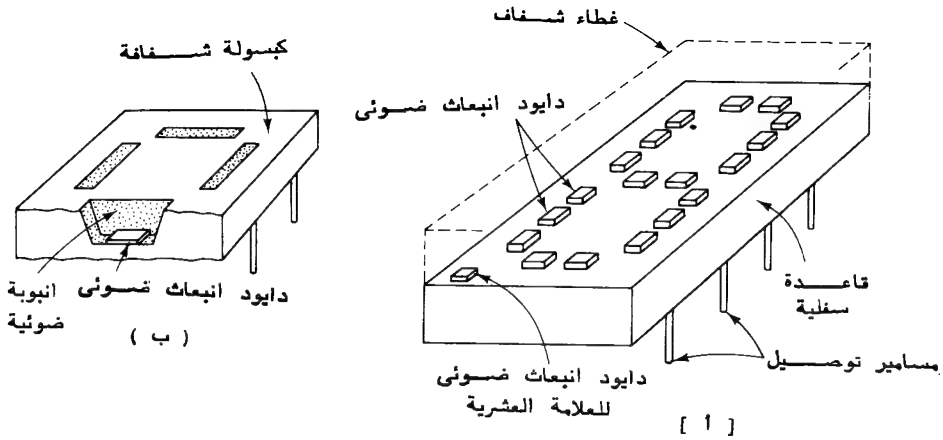
شكل ١٠ - ١. دائرة اساسية لدايود الانبعاث الضوئي

اذا اختيرت المقاومة من مجموعة مقاومات تفاوتها المسموح به مقداره 10% ، فانه يمكن اختيار مقاومة قيمتها اما 220Ω او 270Ω .

وجهد الانهيار العكسي لدايود الانبعاث الضوئي صغير تماما في المدى من 3V الى 10 V . فلذلك يكون من الضروري عند استخدام دايود الانبعاث الضوئي مع مصدر جهد متردد توصيل دايود على التوازي معه [دايود D في شكل ١٠ - ١. وعلى اسلوب التوازي العكسي .

وتحتوي النبائط المسماة دايود الانبعاث الضوئي ذو المقاومة على مقاومة متكاملة للحد من التيار ومحتواه داخل الكبسولة . ولا تدعو الحاجة في هذه الحالة الى مقاومة خارجية للحد من التيار عند التشغيل على الجهد المقتن .

ويوضح شكل ١٠ - ١١ طريقتين شائعتين لاستخدام عوارض الشرائح السبع لدايود الانبعاث الضوئي في المعدات المتقلة . ويبين شكل ١٠ - ١١ [١] الجيل الاول لهذا النوع من وسائل العرض حيث تركيب مجموعات من دايود الانبعاث الضوئي على سفلية في نموذج من سبع شرائح ، ويغلف الجميع بطبقة شفافة . ويوضح الشكل ايضا كيفية تثبيت وضع دايود الانبعاث الضوئي ليتسنى عرض العلامة العشرية .



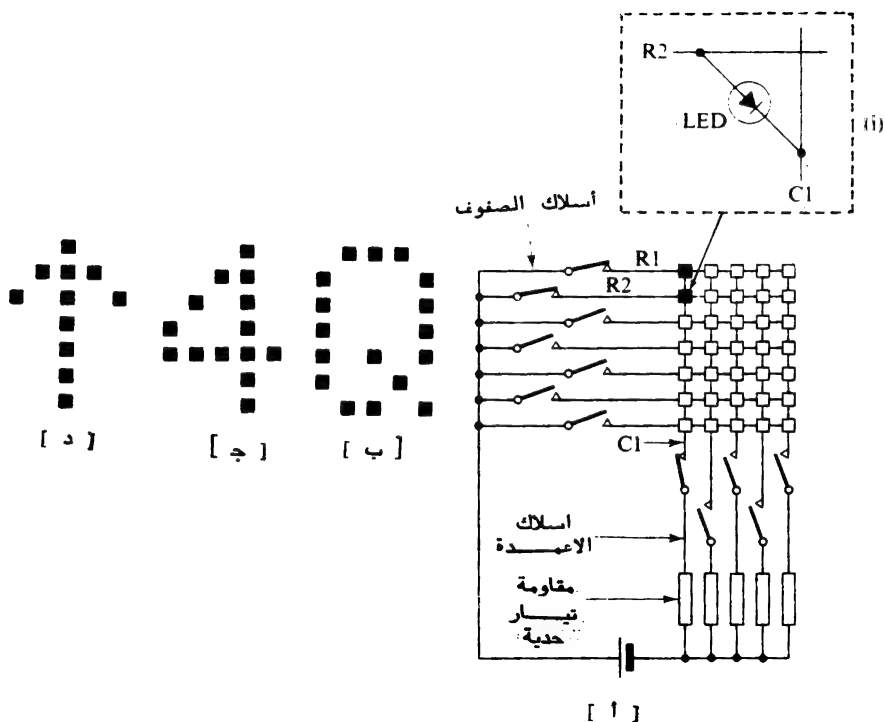
شكل ١ - ١١ طريقتين لتركيب وسائل العرض بالشرائح السبع لدايود القذف الضوئي

فى التطبيق العملى يتخذ احد وضعين لعرض العلامة العشرية هما إما الى أدنى يسار العارض [كما هو موضح بالشكل] . أو أدنى اليمين . ويوضح شكل ١٠ - ١١ [ب] شكلا من التركيبات المستخدمة لما يعرف باسم « الانابيب الضوئية » التى توصل الضوء من دايود الانبعاث الضوئى الى سطح وسيلة العرض . وتتخذ الانبوبة الضوئية شكل فجوة مخروطية مملوءة بالزجاج الشفاف . فتنتشر جسيمات الزجاج الضوء من دايود الانبعاث الضوئى وبذلك تسمح بمساحة اكبر للعرض عن العرض العادى الذى نحصل عليه من الشكل المبين فى ١٠ - ١١ [أ] .

وللبناط الموضحة سابقا قدرة على تكوين إما ارقام عشرية او مدى محدود من الحروف الابجدية . وباستخدام مصفوفة من وحدات الانبعاث الضوئى بها خمسة اعمدة وسبعة صفوف [تعرف بمصفوفة النقطة 5×7] يمكن عرض المدى العشرى والحروف الابجدية كلها بالإضافة الى بعض الرموز

ويوضح شكل ١٠ - ١٢ [أ] فكرة عمل وسيلة عرض مصفوفة النقطة 5×7 اذ يوصل دايود انبعاث ضوئى عند سجل نقطة تقاطع سلكى كل صف مع كل عمود بالطريقة الموضحة فى الجزء (i) من الرسم [أ] لهذا الشكل . ويتم توصيل الدايود فى هذا الشكل بحيث يتصل الانود بسلك الصف R2 ويتصل الكاثود بسلك العمود C1 . فعند اغلاق المفاتيح R1 و R2 و C1 تضاء مجموعة وحدات الدايود عند تقاطع هذه الخطوط وتبين اشكال [ب] و [ج] و [د] بعض العروض النموذجية التى يمكن الحصول عليها من عرض مصفوفة النقطة 5×7 . وبالنسبة للزمن المبينة فان مواصفاتها تطابق شفرة ASCII وتعنى الشفرة الامريكية القياسية للمعلومات البينية .

وتستخدم فى بعض الاحيان مصفوفة نقطة بديلة عبارة عن 4×7 [أربعة اعمدة وسبعة صفوف] وتحتاج الى عدد اقل من مصادر الاضاءة الا أن هذا يكون على حساب الحد من استعملاتها .

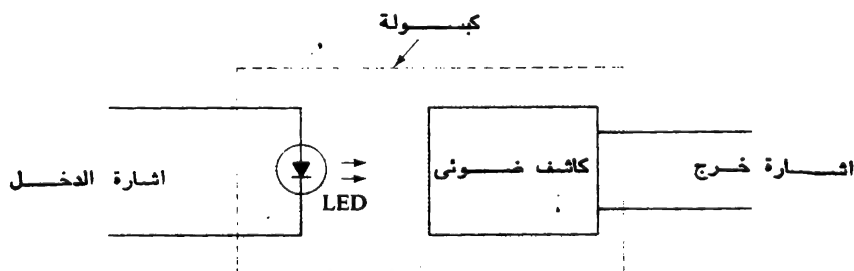


شكل ١٠ - ١٢ عرض مصفوفة النقطة 5×7 A

١٠ - ١٢ وحدات عزل التقارن الضوئي

غالباً ما يواجه مصممي الدوائر الالكترونية مشكلة تهيئة وسيلة لعزلها عن بعضها البعض ، مع استمرار المحافظة على نقل الإشارة ذات الترددات العالية . وقد تم التوصل الى حل كثير من هذه المشاكل بواسطة دوائر العزل التي تستخدم الالكترونات الضوئية .

ويوضح شكل ١٠ - ١٣ فكرة عمل عازل التقارن الضوئي . اذ تسلط الإشارة على الدايمود ذي الموصلية الضوئية ويرسل خرج الضوء الى كاشف ضوئي ، حيث يكون كلاهما متماسكا بالآخر ضوئياً داخل الكبسولة .



شكل ١٠ - ١٣ عازل التقارن الضوئي

والكاشف الضوئي عبارة عن دايدود آخر ذو موصلية ضوئية اوترانزستور ضوئي . وفي بعض الحالات يحتوى العازل الضوئي ايضا على مكبر كابل لتهيئة بعض قدرة الخرج . وتتخذ المقاسات الطبيعية لشكل شائع من وحدات العزل الضوئي المقاسات هي $7.5 \times 6.5 \times 5 \text{ mm}$ ($0.3 \times 0.25 \times 0.2 \text{ in}$)

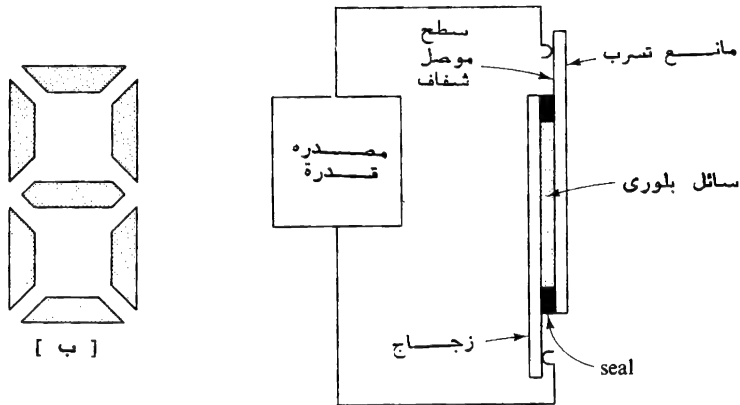
١٠ - ١٣ وحدات الدايدود الفسفوري

يستخدم الدايدود المتفسر [فلوريبي] بكثرة في المعدات الالكترونية اليابانية وتعتمد أساسا على « العين السحرية » دليل الموائمة . وتستخدم هذه النبائط ألواح انسود مغطاة بمادة متفسرة تتوهج بلون أخضر متميز عند قذفها بالالكترونات . وهي تحتاج الى جهد أنسود حوالى 150% ومصدر تسخين بجهد حوالى $1.5V$ وتستخدم عروض الشرائح السبع في الحاسبات الالكترونية الصغيرة .

١٠ - ١٤ مابين السائل البلورى (LCD)

السائل البلورى هو عبارة عن سوائل عضوية والنوع المستخدم فى مابين السائل البلورى يعرف بالسائل البلورى الخيطى (nematic) [من الكلمة اليونانية nematos التى تعنى « تشبه الخيط » بمعنى أن الجزيئات تتخذ شكلا مماثلا للخيط فى طبيعتها] .

يوضح شكل ١٠ - ١٤ [١] فكرة عمل مابين السائل البلورى ، حيث يحكم السائل بين سطحين زجاجين مانعين للتسرب حيث يغطى السطح الداخلى لكل منهما بمادة موصلة شفافة يؤدى تسليط فرق جهد فى المدى ما بين $1.5 V$ الى $30 V$ [معتمدا على اسلوب التشغيل] ، التى تغير الخواص الضوئية للسائل البلورى . ومن الوجهة الاساسية ، يوجد نوعان متاحان



[١]

شكل ١٠ - ١٤ فكرة عمل عروض السائل البلورى [ب] مابين سائل بلورى تقليدى - ذى الشرائح السبع .

هما عوارض الاستطارة الديناميكية والتي تعطى دائما عروضاً بيضاء وعروض التأثير المجالى والتي تعطى عادة عروضاً سوداء [. ولا يعطى السائل البلورى بنفسه اى اضاءة ويعتمد كلية او تماما على الاضاءة المحيطة

وعند تنشيط احد انواع الاستطارة ديناميكيا ، تصبح الجزيئات مضطربة [داومية] وينتشر الضوء بكفاءة مرتفعة جدا . ويؤدى هذا الى ظهور العرض الابيض حيث تعتمد شدة الاضاءة على الاحوال المحيطة . اما بالنسبة لعروض التأثير — المجالى فان المساحات المنشطة [الممتدة بالطاقة] تمتص الضوء الساقط فتعطى عرضاً اسود .

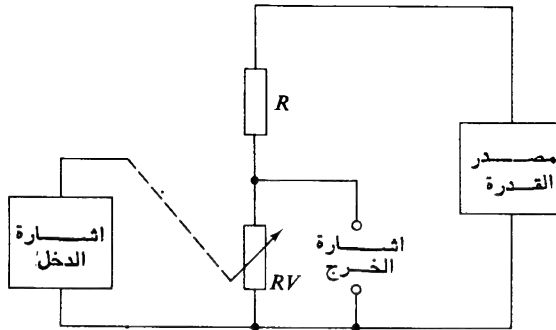
ويعانى كلا النوعين البلوريين من التحلل الكهربائى عند تغذيتها بمصدر تيار مسخر ويؤدى الى قصر عمر العارض . وللتغلب على هذا ، تنشط البلورات بواسطة منبع تيار متردد . وحيث أن مابين السائل البلورى لايعطى خرجاً ضوئياً بصفة تلقائية ، لذا فان قيمة التيار المسحوب من المصدر تقع فى حدود الميكروامبير ، مما يجعله مثاليا . للاستخدامات المتنقلة والصغيرة مثل ساعات المعصم .

الفصل الحادى عشر

المكبرات والدوائر المنطقية الأساسية

١١ - ١ أساس عمل المكبرات

يوضح شكل ١١ - ١ فكرة عمل كثير من أنواع المكبرات الالكترونية . ويتكون المكبر من مقاومة ثابتة متصلة على التوالى مع مقاومة متغيرة RV حيث يتحكم جهد الدخل او اشارة الدخل فى هذه المقاومة . هذا وتستخدم كلمة « اشارة » فى الالكترونيات لتعطى معنى كمية كهربائية تحتوى على المعلومات او البيانات المراد نقلها كما تستخدم كلمات تكبير او كسب فى هذا الباب لتعنى زيادة فى قيمة الاشارة .



شكل ١١ - ١ فكرة عمل المكبرات الالكترونية

يعبر عن الكفاءة الكهربائية لكثير من المكبرات كنسبة بين القدرة الممتصة فى الحمل الى القدرة المغذاة من المصدر ، ويمكن ان تنخفض هذه النسبة الى 10% ولكن طالما تقوم الدائرة بتكبير الاشارة بطريقة مرضية فلن تعنى قيمة الكفاءة ايا من المصمم او المستهلك . وتبلغ القدرة المتضمنة دائما مجرد جزء من الوات فى المكبر من النوع الموضح عالياه . ومع كل ، فان الكفاءة المرتفعة تعتبر أمرا حيويا بالنسبة لمعدات التردد السمعى ، حيث تعادل قدرة الخرج حوالى 30 وات او اكثر .

وتتماثل اشارة الخرج من المكبر عادة [ليس بالضرورة] مع اشارة الدخل الا انها مكبرة او مضخمة وتظهر بين طرفى المقاومة المتغيرة RV المبينة فى شكل ١١ - ١ . ويحل الترانزستور او الصمام فى المعدات القديمة ، فى التطبيق العملى ، محل هذه المقاومة المتغيرة . حيث تتحكم قيمة اشارة الدخل فى تحديد قيمة المقاومة الفعالة .

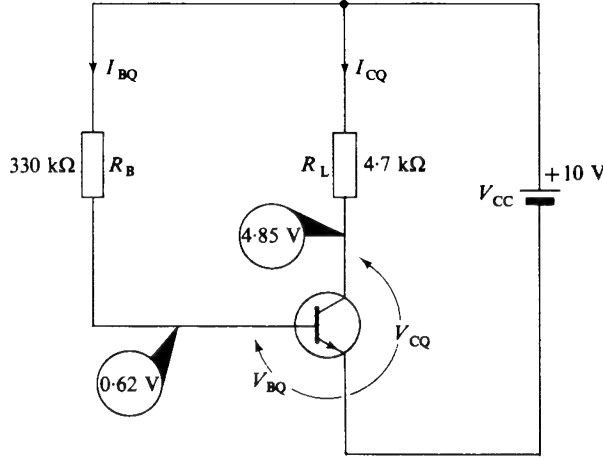
هذا وتوجد عدة طرق لتقسيم المكبرات ، وفى احدى هذه الطرق تقسم الى مكبرات خطية ومكبرات مفتاحية . فالمكبر الخطى يقوم بتكبير الشكل الموجى لاشارة الدخل بأمانة وبدون أى تشويه . وتوصف المكبرات الخطية التى تتعامل مع اشارات دخل ذات قيم صغيرة [أى أن قيمة ج.و.ر. الجهد تعادل بضعة من وحدات الملى فولت] أحيانا بمكبرات الجهد ، حيث تكبر القيم الصغيرة لجهود الدخل بطريقة خطية . ولقد تم تصميم مكبرات قدرة تستطيع ان تتعامل مع مستوى كاف من القدرة مثل خرج نبائط المجهر أو دائرة الجال للمحرك الكهربائى وبمستويات قدرة تبدأ من بضعة وحدات من الواط الى عدة كيلو واط وتتغير قيمة المقاومة المتغيرة المبينة فى شكل ١١ - ٢ بالنسبة للمكبر المفتاحى فجأة من قيمة صغيرة الى ما لا نهاية ، هذا وتضم هذه الطائفة الدوائر المنطقية .

هذا وسوف تعرض المكبرات الخطية فى الفصول من ١١ - ٢ الى ١٢ - ٨ على أن تقدم الدوائر المفتاحية فى بقية فصول الباب .

١١ - ٢ مكبر أساسى من نوع الباعث المشترك

سبق أن قدمنا فى الباب التاسع ، اشكالا مختلفة لترانزستور الباعث المشترك مع تقديم خواصها . وفى هذا الجزء من الكتاب سنعالج كيفية استخدام الترانزستور على منوال الباعث المشترك لتكبير الاشارات .

يوضح شكل ١١ - ٢ شكلا هيكليا للمكبر المستخدم مع ترانزستور من السليكون سى - م سى . وسنأخذ فى الاعتبار اولا حالات التشغيل لهذه الدائرة بالنسبة للتيار المستمر . اذ تسمح القيم المحددة فى هذا التشغيل للترانزستور أن يعمل كمكبر . وللحصول على حالات التشغيل الصحيحة يتحتم أن ينحاز الترانزستور [الذى يحل محل المقاومة المتغيرة فى شكل ١١ - ١] بحيث تعادل القيمة الساكنة لجهد الجمع حوالى نصف جهد المصدر، أى يجب أن يساوى حوالى $V_{cc}/2$. وتبلغ قيمة جهد المصدر $10V$ فى الحالة الموضحة بالشكل ، مع مقاومة انحياز R_B فى دائرة القاعدة مقدارها $330\text{ k}\Omega$. كما وجد أن قيمة جهد الجمع تعادل $4.85V$ [لاحظ أن هذه القيمة لجهد الجمع هى نتيجة لاختيار الترانزستور بطريقة عشوائية ، فإذا



شكل ١١ - ٢ مستويات الجهد المستمر في المكبر الاساسى

استخدم ترانزستور آخر من نفس النوع ، تكون قيمة جهد المجمع فى جميع الاحتمالات مختلفة عن هذه القيمة المعطاة [. هذا وقد أعطيت قيم الجهود فى شكل ١١ - ٢ فى حالة سكون الدائرة ، أى فى حالة عدم دفع اشارة فى منطقة قاعدة الترانزستور وبالتالي يسمى جهد المجمع المبين بجهد السكون للمجمع V_{CQ} كما يسمى جهد القاعدة الموضح بجهد سكون القاعدة . ومن القيم المبينة ، فان قيمة تيار السكون بالقاعدة هى :

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BQ}}{R_B} = \frac{10 - 0.62}{330 \times 10^3} = 28.5 \times 10^{-6} \text{ A or } 28.5 \mu\text{A}$$

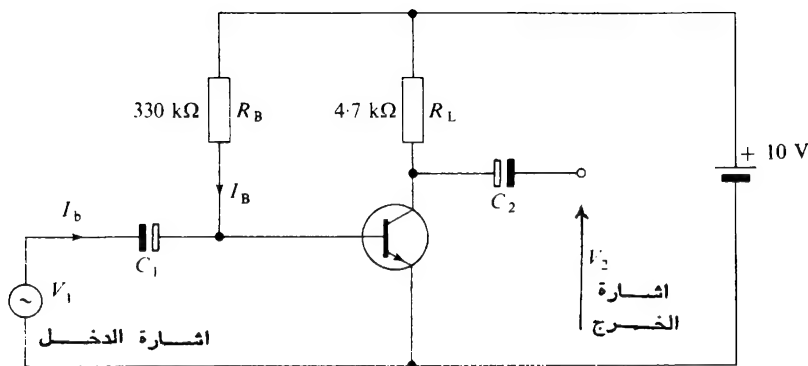
وقيمة تيار السكون للمجمع هى

$$I_{CQ} = \frac{V_{CC} - V_{CQ}}{R_L} = \frac{10 - 4.85}{4.7 \times 10^3} = 1.1 \times 10^{-3} \text{ A}$$

ويكون التيار الكلى المسحوب من مصدر $1.1 + 0.028 \text{ mA} = 1.128 \text{ mA}$ والذى تجعل القدرة المطلوبة من المصدر وحدة اكبر قليلا من 11 mW .

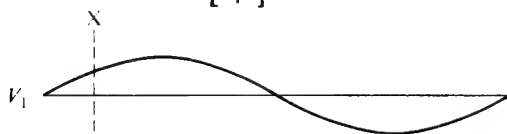
وتعطى النسبة بين قيمتى تيار السكون [أى أن نسبة I_{CQ}/I_{BQ}] معاملا اوباراميتير للترانزستور المعروف بالكسب فى حالة التيار المستمر أو كسب التيار للاشارة المكبرة ، ويعرف بالرمز h_{FE} . هذا وقد سبق لنا فى الفصل التاسع توضيح الباراميتير h_{fe} وهو كسب التيار فى حالة الاشارة الصغيرة ولاغراض عملية كثيرة ، ويكون من الصواب افتراض أن قيمة h_{FE} تساوى بالتقريب h_{fe} وتحدد قيمة كسب التيار من الارقام السابقة كما يلى :

$$38.6 = \frac{1.1 \text{ mA}}{0.0285 \text{ mA}} = \frac{\text{تيار المجمع}}{\text{تيار القاعدة}} = \text{كسب التيار}$$

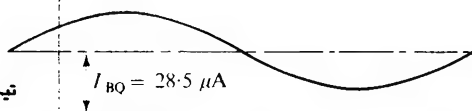


[١]

[ب]

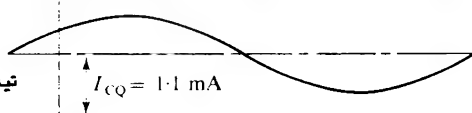


[ج] تيار القاعدة الكلى

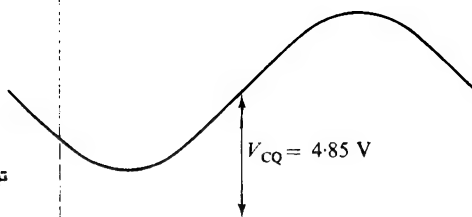


مركبة مترددة

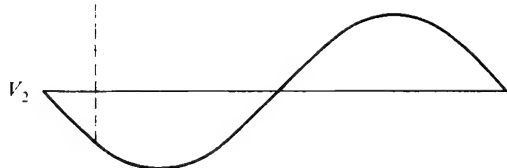
[د] تيار المجمع الكلى



[هـ] تيار المجمع الكلى



[و]



شكل ١١ - ٢ [١] دائرة مكبر كايطة ، من [ب] الى [و] بين الاشكال الموجية فى الدائرة [الاشكال الموجية مرسومة بدون استخدام مقياس رسم] .

ولا تعتبر هذه القيمة لكسب التيار مرتفعة على وجه الخصوص ، ولكنها تقع ضمن المدى الواسع لمجموعات الترانزستور التى تبلغ القيمة المتوسطة

لكسب التيار بها حوالى 60 . وبعد أن تكون الحالات المناسبة للتشغيل بالتيار المستمر قد تحددت ، بوجه انتباه القارئ الى كبير الإشارة المترددة ويوضح شكل ١١ — ٣ | ١ | الدائرة الكاملة التى تتعامل مع الإشارات المتغيرة . حيث توصل إشارة الدخل المترددة V_1 الى المكبر من خلال مكتف الكتروليتى C_1 ، والذي سنقدم السبب فى استخدامه فى هذا الفصل . فمن ضمن وظائف هذا المكثف منع جهد السكون بالقاعدة من أن يمرر تيارا فى مصدر إشارة الدخل . لذا يسمى المكثف C_1 فى بعض الأحيان **بالمكثف المانع** . هذا وتقل مفاعلة المكثف C_1 بالمقارنة مع بمعاوقة الدخل للترانزستور | وهى المقاومة الفعالة بين القاعدة والباعث | عند ترددات التشغيل العادية للمكبر .

من هذا يتضح أنه . عند تسليط إشارة دخل مترددة بين طرفى دخل المكبر، تظهر الإشارة كلها من الناحية الفعلية عند قاعدة الترانزستور ويقع هبوط قليل جدا فى الجهد بين طرفى المكثف C_1 . وعلى سبيل المثال ، اذا كان أقل تردد يراد تكبيره هو 32 Hz واستخدام مكثف مانع سعة 50 μF فان مفاعلة المكثف عند هذا التردد تعادل حوالى 100 Ω . وبذلك تصبح قيمة هذا المكثف مناسبة للتطبيق المرغوب . ومن الضرورى استخدام مكثف الكتروليتى لهذه الحالة حتى يتسنى لنا الحصول على مثل هذه القيمة المرتفعة لمكثف فى حجم علبة عادية صغيرة ، فالمكثف سعة 50 μF بجهد مقنن يساوى 25V قد يكون قطره حوالى 8 mm (0.3 in) وطوله 20 mm (0.8 in) ويجب توصيل المكثفات المستخدمة بالطريقة الموضحة بالشكل حيث انها من النوع القطبى .

يوضح شكل ١١ — ٣ من | ب | الى | و | الاشكال الموجية للدائرة عندما تتخذ إشارة الدخل شكلا جيبيا . وقد وقعت هذه الاشكال الموجية بدون استخدام مقياس رسم معين ، حيث يمكن ان تسبب إشارة الدخل (V_1) ، بقيمة تقع فى حدود بضع وحدات من الفولت . ويؤدى كسب الجهد للمكبر الى هذا الاختلاف النسبى للإشارتين . وكما سنرى فيما بعد ، يسمح بأكبر قيمة ج.م.م لإشارة الدخل مقدارها حوالى 15 mV والا اصبح الشكل الموجى للخروج واضح التشوه .

وعندما تساوى قيمة الجهد V_1 فى شكل ١١ — ٣ [ب] صفرا ، تتخذ قيم التيار والجهد المصاحبة للترانزستور بما يساوى القيم الساكنة للدائرة [أنظر شكل ١١ — ٢ | والآن ، لنأخذ فى الاعتبار الحالات الناجمة فى الدائرة عند اللحظة X على الشكل الموجى الموضح فى شكل ١١ — ٣ . فعند هذه اللحظة من الزمن . يتخذ جهد إشارة الدخل V_1 قطبية موجية [شكل ب] وهكذا تساهم بجزء من قيمة تيار القاعدة عللاوة على التيار المنساب فى مقاومة انحياز القاعدة R_B ، لذا ، يزيد تيار القاعدة الكلى عند اللحظة X عن تيار السكون [أنظر شكل ٢] . وحيث أن قيمة كسب التيار للترانزستور تعادل 38.6 ، فان التغير فى قيمة تيار المجمع بالنسبة لقيمته الساكنة يزيد عن التغير فى قيمة تيار القاعدة بالنسبة لقيمته الساكنة

بما يعادل 38.6 مرة ، ومن الممكن أن تلاحظ هذه الزيادة لتيار المجمع فى شكل ١١ - ٣ [د] . هذا وتؤدى الزيادة فى تيار المجمع المناسب فى المقاومة R_L عند اللحظة X الى زيادة فى فرق الجهد بين طرفى R_L . وبالتالى تقل قيمة جهد المجمع عند اللحظة X عن قيمة جهد السكون للمجمع V_{CO} [انظر شكل هـ] .

وسيالاحظ القارئ ان الشكل الموجى لجهد المجمع الكلى يتكون من اشارة مترددة او مركبة مترددة مضافة الى جهد السكون للمجمع . وبصفة عامة، يتركز الاهتمام بالمركبات المترددة فقط من الشكل الموجى لجهد المجمع ، حيث انها هى النسخة المكبرة لاشارة الدخل . لذا كان من اللازم فصل المركبات المترددة لجهد المجمع عن الاشارة الكلية ويعطى المكثف المانع C_2 الطريقة الملائمة لتنفيذ المطلوب . حيث يعوق المكثف جهد السكون للمجمع من الظهور بين طرفى الخرج ويسمح للمركبات المترددة فقط بالمرور مع فقد قليل . ولكى يستطيع المكثف ان يقوم بهذا العمل لابد ان تكون مفاعلة المكثف C_2 منخفضة عن اقل تردد تشغيل للمكبر . مرة اخرى ، نقرر ان المكثف C_2 هو مكثف الكتروليتى ذو سعة قيمتها حوالى $50 \mu F$ [يمكن استخدام قيمة فى المدى من $10 \mu F$ الى $100 \mu F$ طبقا لنوع التطبيق] .

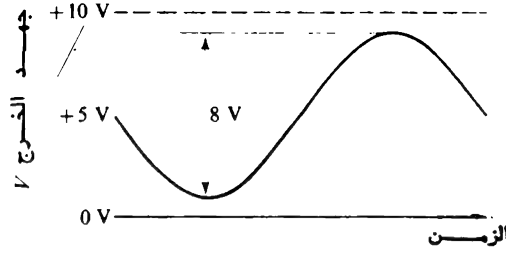
وعند تسليط اشارة جيبيه جذر متوسط مربع قيمتها يساوى $10mV$ على الدائرة بالشكل ١١ - ٣ [أ] عند تردد قيمته $1 kHz$ ، وجد ان قيمة جهد الخرج تعادل $1.9 V$. علما بأن هذه الدائرة غير متصلة بحمل خارجى ، وفى هذه الحالة يعطى كسب جهد المكبر بالتعبير الاتى :

$$\begin{aligned} \text{كسب الجهد فى حالة اللاحمل} &= A_v = \frac{\text{ج.م.م قيمة جهد الخرج}}{\text{ج.م.م قيمة جهد الدخل}} \\ &= \frac{1.9}{0.01} = 190 \end{aligned}$$

أى ان الدائرة تكبر جهد الدخل بمعامل قدره 190 !

ومن احدى سمات هذا المكبر ان شكل موجة الخرج يضاد شكل موجة الدخل [انظر الاشكال ١١ - ٣ [ب] و ١١ - ٣ [و] . لهذا يوصف هذا المكبر بمكبر عاكس الطور .

ولنأخذ الان فى الاعتبار التأثير الواقعى لقيمة كسب الجهد على قيمة اقصى جهد دخل V_i من الممكن تسليطه على الدائرة قبل ان تصبح اشارة الخرج مشوهة ومن الافضل توضيح ذلك من خلال شكل ١١ - ٤ . فمن الناحية النظرية ، يستطيع جهد المجمع ان يتغير او يتأرجح من ادىنى قيمة وهى الصفر [وتحدث عندما تكون قيمة تيار القاعدة كبيرة كبراً كافياً لتضع الترانزستور فى حالة تشبع] .



شكل ١١ - ٤ القيود على أقصى قيم لتأرجح الجهد

الى قيمة ممكنة وهي مساوية لجهد المصدر [والتي تحدث عندما يساوى تيار القاعدة صفرا وعندما يعمل الترانزستور كقاطع] . وتتواجد عمليا عدة اسباب تدعو لعدم امكان الحصول على جهد التأرجح هذا ، ولسوف نعطي هنا سببين منها . واول السببين هو صعوبة التوصل الى القيمة المثالية لجهد السكون للمجمع وهي $V_{cc}/2$ | 5V فى الحالة المثالية بالشكل ١١ - ٣ [باستخدام مكونات الدوائر المتاحة : وتراوح جهد السكون بين 4.5 V الى 5.5 V يعتبر مقبولا . ويقتل هذا بطريقة فعالة من الرحلة القصيرة لجهد الذروة المسموح] اما عند الاتجاه الى القيمة الموجبة او عند الاتجاه الى القيمة السالبة [للشكل الموجب للمجمع الى قيمة تقل عن 5V . وثانى هذه الاسباب يرجع الى ان خواص خرج الترانزستور تصبح غير منتظمة اذا ما بلغت قيمة تيار القاعدة مقدارا صغيرا جدا او اذا بلغت مقدارا كبيرا جدا . فان اقترب تيار القاعدة من هذه النهايات ، يصبح شكل موجة جهد الخرج مشوها . وتبلغ أقصى قيمة معقولة لتأرجح جهد المجمع [من الذروة الى الذروة] فى حالة مصدر جهد 10 V حوالى 8 V . وباستخدام قيمة كسب الجهد المحسوبة اعلاه فان قيمة جهد الدخل من الذروة الى الذروة التى تعطى خرجا لجهد التأرجح مقداره 8V تكون :

$$8/190 = 0.042V = 42 \text{ mV}$$

ويكون جذر متوسط مربع [ج.م.م] قيمة V_1 المفاخر للقيمة من الذروة الى الذروة هو 15 mV $(2\sqrt{2})$ 42 وحتى مع هذه القيمة لجهد الدخل ، سيظهر جهد الخرج بعض التشويه اذا ما تورن بموجة جيبية خالصة .

١١ - ٣ قواعد سهلة وواضحة لحساب قيم مكونات الدائرة

تصمم دوائر الكترونية كثيرة على اسس تتبع قواعد سهلة وواضحة قد تكون غير محققة الا انها مبنية على اسس علمية . دعنا نرى كيف يمكن تنفيذ التصميم الاساسى بالنسبة للدائرة الموضحة فى شكل ١١ - ٣ [١] .

اولا ، يجب ان يتخذ قرار قيمة جهد المصدر وتيار التصريف المسموح به . فى الدائرة المذكورة . يمكن ان نقرر استخدام مصدر قيمته 10 V مع تيار تصريف للمجمع حوالى 1 mA على اعتبار انها قيم مقبولة .

واللحصول على أكبر قيمة ممكنة لجهد الخرج المتأرجح ، يتحتم أن يعادل جهد السكون للمجمع حوالى نصف مصدر الجهد أى لابد أن تكون قيمته حوالى 5V . ويتطلب هذا ، فى حالة السكون عندما يكون تيار المجمع قيمته 1 mA أن يظهر جهداً قدره 5V بين طرفى R_L . وهكذا فإن :

$$R_L = 5 \text{ V} / 0.001 \text{ A} = 5000 \Omega$$

وتصبح القيمة المناسبة التى يمكن تفضيلها للمقاومة هى 4.7 kΩ .

هذا ويعتمد تيار السكون للقاعدة على قيمة كسب التيار للترانزستور ولنفرض ان قيمة هذا الكسب تعادل 40 . اذن

$$I_{BQ} = I_{CQ} / 40 = 1 / 40 = 0.025 \text{ mA or } 25 \mu\text{A}$$

وعند ما تمر هذه القيمة من التيار فى مقاومة انحياز القاعدة R_B ، يتحتم أن يساوى فرق الجهد بين طرفيها ما يلى :

$$[V_{CC} - \text{ فرق الجهد بين القاعدة والباعث للترانزستور }]$$

وحيث أن الترانزستور المستخدم مصنوع من السليكون فإن فرق الجهد بين قاعدته والباعث تبلغ حوالى 0.6 V وهذا يعطى فرق جهد بين طرفي R_B مقداره 9.4 V وبناء على ذلك ويكون

$$R_B = \frac{9.4 \text{ V}}{25 \times 10^{-6} \text{ A}} = 0.376 \times 10^6 \Omega \text{ or } 376 \text{ k}\Omega$$

وتصبح القيم السابقة هى نقطة البداية لاختيار قيمة المقاومة R_B ، ولقد تقرر اختيار قيمة لها تساوى 330 kΩ بصفة نهائية .

معاوقة الدخل للمكبر : يلزم معرفة بعض المعلومات عن معاوقة الدخل للمكبر حيث أن هذه القيمة - كما سنرى فيما بعد - تعتبر مفيدة لحساب كسب الجهد للمكبر . فمعاوقة الدخل هى المعاوقة التى « ترى » من مصدر داخل الإشارة . وبفرض أن قيمة مفاعلة المكثف C_1 صغيرة ، تصبح مقاومة الدخل عبارة عن مجموعة التوازي للمقاومات المنهية عند توصيلة القاعدة للترانزستور وبمعنى آخر تتصل R_B على التوازي مع المقاومة بين القاعدة والباعث للترانزستور ، وقيمة المقاومة الأخيرة تعادل حوالى 1 kΩ فى حالة مكبر جهد الإشارة الصغيرة . وهكذا ، تكافئ معاوقة الدخل 1 kΩ على التوازي مع 330 kΩ والتى يمكن اعتبارها من الناحية الواقعية 1 kΩ .

القيمة الفعالة لمقاومة الحمل : تصبح القيمة الفعالة لمقاومة الحمل فى حالة غياب مقاومة الحمل الخارجى الموصل بين طرفى الخرج ، R_L ، والتى تساوى 4.7 kΩ فى شكل 11 - 3 [1] . فإذا وصل حمل خارجى ، مثلاً بمقاومة 1 kΩ بين طرفى الخرج ، تصبح القيمة الفعالة لمقاومة الحمل مساوية لتركيبية التوازي للمقاومة 1 kΩ و R_L أى 0.825 kΩ

كسب الجهد للمكبر : يعطى قيمة كسب الجهد للمكبر بالتعبير الاتى :

القيمة الفعالة لمقاومة الحمل
 كسب الجهد = $A_v = \frac{\text{كسب التيار} \times \text{قيمة مقاومة الدخل للمكبر}}{\text{قيمة المقاومة لمقاومة الحمل}}$

باستخدام الارقام السابقة ، كسب الجهد بدون الحمل هو

$$38.6 \times \frac{4700}{1000} = 181.4$$

وسلاحظ القارئ ان هذا يتفق الى حد كبير جدا مع القيمة المقاسة وهي 190 فاذا وصل حمل مقداره $1 \text{ k}\Omega$ ، تصبح القيمة النظرية لكسب الجهد

$$38.6 \times \frac{825}{1000} = 31.9$$

وقد وجد ان قيمة كسب الجهد المقاسة فى حالة وجود حمل بمقاومة $1 \text{ k}\Omega$ تعادل 33 .

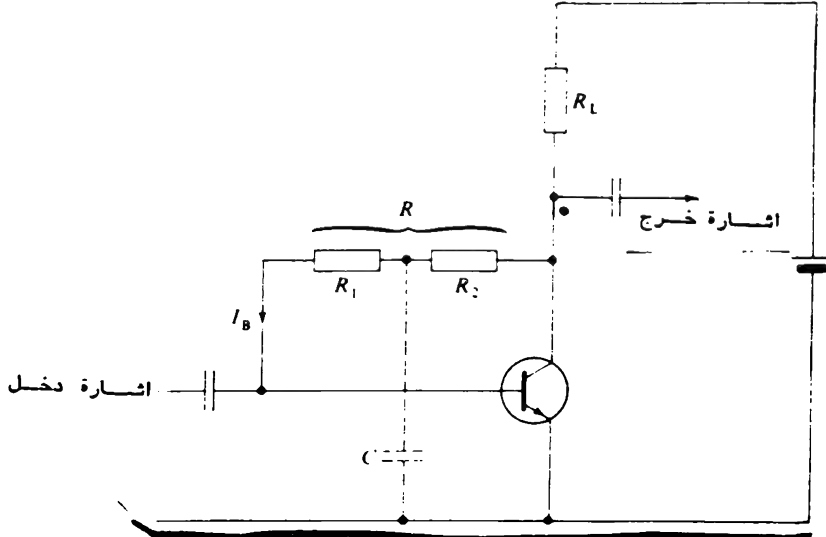
١١ - ٤ الاستقرار الحرارى للمكبرات

تتغير قيم كل من جهد السكون للمجمع وكسب الجهد عند تغير درجة الحرارة المحيطة التى تعمل عندها الدائرة المبسطة فى شكل ١١ - ٣ [١] وتسبب الزيادة فى درجة الحرارة انخفاضا قليلا فى جهد المجمع . وقد يكون ارتحال قيم جهد السكون للمجمع وتغير قيم كسب الجهد امرا غير ملائم بالنسبة لكثير من المكبرات . ولذلك فقد استتبعت الدوائر العملية طرقا للحد من تأثير التغير فى درجة الحرارة المحيطة .

يعرف التغير البطيء فى جهد المجمع مع درجة الحرارة «بالانسياق» وهو نتيجة تغير نقطة تشغيل الترانزستور على منحنيات الخواص ، والتغير فى هذا الجهد . بدوره ، ان هو الا نتيجة للزيادة فى تيار المجمع عند الزيادة فى درجة الحرارة . وفى مكبرات الجهد تؤدي الزيادة فى تيار المجمع نتيجة للتأثيرات الحرارية الى زيادة القدرة المبذولة فى الترانزستور ، ولكن هذا لا يتلف الترانزستور فى العادة وعلى اى حال ، يؤدي تأثير الحرارة الاضافية ، فى بعض مكبرات القدرة حيث يعمل الترانزستور قرب نهاية تقنيته . الى استحداث تيار حرارى يمكن ان يزيد من درجة حرارة الترانزستور ، مما يؤدي الى زيادة اكبر فى تيار المجمع عن ذى قبل . فاذا لم يمكن التحكم فى هذا التأثير السابق بطريقة ما، فقد تزيد الحرارة المتولدة فى الترانزستور عن حرارة التبريد للتبطينة .

فاذا تراكم هذا التأثير ، قد تستمر درجة حرارة الترانزستور فى الارتفاع ويزيد احتمال حدوث التلف التام . وتعرف هذه الظاهرة **بالانفلات الحرارى** . ونظرا للاسباب السابقة ، يصبح المكبر الاساسى فى شكل ١١ - ٣ [١] ، غير مرض من وجهة نظر الاستقرار الحرارى .

ويتم التوصل الى بعض التحسينات في الاستقرار الحرارى باستخدام الدائرة الموضحة في شكل ١١ - ٥ . ففى هذه الدائرة ، نحصل على التيار المستمر الانحيازى للقاعدة من جهد المجمع خلال مقاومة الشبكة R . لكى تعطى هذه الدائرة نفس حالات السكون الخاصة بالدائرة الاساسية على وجه التقريب تبلغ قيمة المقاومة R فى شكل ١١ - ٥ حوالى نصف قيمة المقاومة R_B فى شكل ١١ - ٣ .



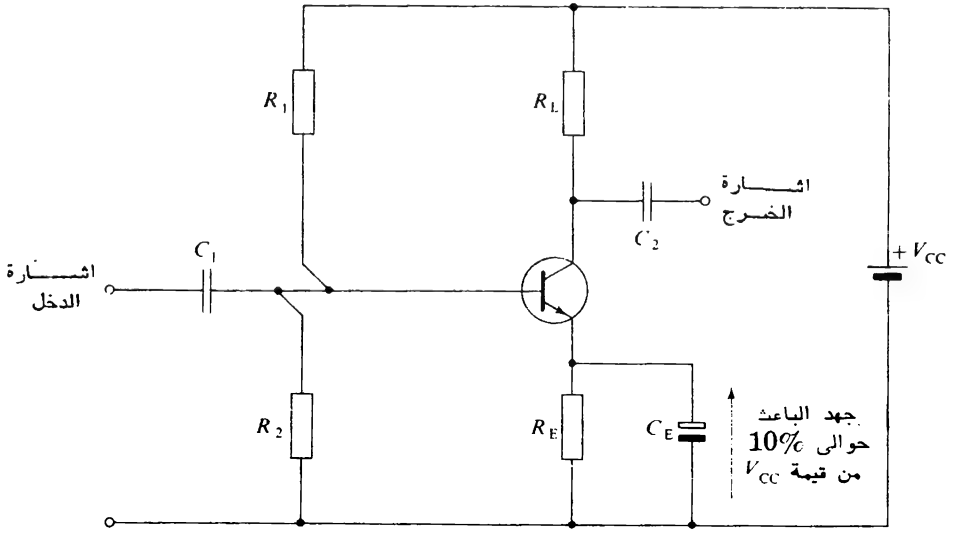
شكل ١١ - ٥ مكبر باعث مشترك مع تحسن في الاستقرار الحرارى

اى ان قيمتها تعادل حوالى $165 \text{ k}\Omega$. وسنوضح فيما يلى السبب الذى ادى الى ان تصبح دائرة شكل ١١ - ٥ احسن من الدائرة الاساسية عند مقارنتهما مع بعضهما البعض من وجهة نظر الاستقرار الحرارى . فلنفترض الان ان درجة الحرارة المحيطة بصدد الارتفاع ، هنا ينجح تيار المجمع معها الى الزيادة ويكون الاثر النهائى هو انخفاض جهد المجمع . وحيث ان احدى نهايات شبكة مقاومة الانحياز موصلة بالمجمع ، فان انخفاض جهد المجمع سيؤدى الى انخفاض مباشر فى قيمة تيار القاعدة I_B . ويؤدى هذا بالتالى الى الحد من ارتفاع قيمة تيار المجمع حتى حوالى 50% من القيمة التى يمكن ان تقع بالنسبة للدائرة الاساسية فى شكل ١١ - ٣ .

ومن عيوب ترتيبية شكل ١١ - ٥ ان التغير فى جهد المجمع عند تردد الاشارة [اى اشارة الخرج المترددة] يرتد ايضا ليفضى القاعدة ويحد من قيمة تيار القاعدة ويعرف هذا **بالنغذية المرتدة السالبة** ، وكما سنرى فى الفصل الثالث عشر يمكن ان تؤثر على انخفاض قيمة كسب جهد المرحلة . ولكى نمنع هذا من الحدوث تهباً نقطة تفرع متوسطة من سلسلة المقاومات بحيث توصل النقطة المتوسطة الى الخط المشترك خلال المكثف C [وهو الموضح بخط متقطع فى شكل ١١ - ٥] .

وبهية هذا المكثف مسلكا ذى مفاعلة منخفضة للتيارات المترددة للاشارة المناسبة فى R_2 وبذلك تمنع هذه التيارات من أن تمر فى قاعدة الترانزستور وقيمة المكثف C المناسبة فى هذه الحالة تبلغ حوالى $0.1 \mu F$.

ويوضح شكل ١١ - ٦ دائرة كثيرة الشبوع وتعطى استقرارا حراريا افضل . ولقد هبئت هذه القيمة المرتفعة من الاستقرار الحرارى لهذه الدائرة نتيجة استخدام سلسلة مجزىء الجهد R_1 R_2 فى دائرة انحياز القاعدة مع المقاومة R_E والمكثف C_E فى دائرة الباعث .



شكل ١١ - ٦ مكبر شائع جدا ذو باعث مشترك على درجة عالية من الاستقرار الحرارى .

وتصبح وظيفة سلسلة مجزىء الجهد بالمقاومتين R_1 و R_2 هى التأكيد على دوام المحافظة على جهد التيار المستمر لقاعدة الترانزستور بقيمة تكاد تكون ثابتة على مدى درجة حرارة التشغيل للدائرة . ويتناسب جهد التيار المستمر الناتج بين طرفى المقاومة R_E مع قيمة تيار الباعث ، وتبلغ القيمة المتوسطة للجهد الظاهر بين طرفيها حوالى 10% من قيمة جهد المصدر V_{CC} فى العادة . ويتكون التيار الكلى للباعث من التيار المستمر « الساكن » ، بالإضافة الى التيار المتردد الناتج عن الاشارة . ومن أجل تحقيق استقرار حرارى يستلزم الامر أن يكون فرق الجهد بين طرفى R_E من التيار المستمر ، ولتحقيق هذا يتحتم تقوية المقاومة R_E بمسار له معاوقة ذات قيمة منخفضة حتى لا تمر المكونات المترددة من تيار الباعث فى هذه المقاومة . ويؤدى المكثف C_E هذا الدور وهو عبارة عن مكثف الكترولى سعة حوالى $100 \mu F$ او اكثر .

وفىما يلى نعرض الطريقة التى تهية بها هذه الدائرة الاستقرار الحرارى

المطلوب . فعند زيادة درجة الحرارة المحيطة ، تميل قيمة كل من التيار المستمر — للمجمع وكذلك تيار الباعث للزيادة . فتؤدي الزيادة في تيار الباعث الى زيادة القيمة المتوسطة لفرق الجهد بين طرفي المقاومة R_E ، ويرتفع جهد الباعث بالنسبة للخط المشترك . وحيث أن جهد منطقة القاعدة يحافظ على ثباته بواسطة المقاومتين R_1 و R_2 فان الزيادة في جهد الباعث بتأثير درجة الحرارة تؤدي بالتالى الى انخفاض فرق الجهد بين القاعدة والباعث . ويؤدي هذا الاقلال في الجهد الى انخفاض مصاحب في تيار القاعدة . وكما ذكر سابقا ، يؤدي الاقلال في تيار القاعدة الى انخفاض القيمة المتوسطة لتيار المجمع الذى يعادل لدرجة كبيرة الزيادة في تيار المجمع نتيجة ارتفاع درجة الحرارة . وتعاكس الزيادة في تيار المجمع للدائرة في شكل ١١ — ٦ حوالى مجرد خمس الى عشر قيمة الزيادة في حالة الدائرة الاساسية في شكل ١١ — ٣ وذلك مع قيم المكونات المعتادة التى تقابلها في مثل هذا النوع من الدوائر .

وفىما يلى طريقة بسيطة وواضحة للاختيار المبدئى لقيم مكونات الدائرة المبينة في شكل ١١ — ٦ . لنفترض أن قيمة V_{CC} تعادل 9 V ، وأن التيار المسحوب من المصدر يعادل حوالى 1 mA . فإذا سمح لفرق جهد مقداره 1 V ان يظهر بين طرفي المقاومة R_E ، فان $R_E = 1\text{ V} / 1\text{ mA} = 1\text{ k}\Omega$. ولكى نحصل على درجة استقرار حرارى مقبولة ، يتحتم ان تساوى قيمة R_2 حوالى عشرة اضعاف R_E ، أى ان $R_2 = 10\text{ k}\Omega$. ويمكن حساب قيمة المقاومة R_1 من المعادلة الآتية :

$$R_1 \approx R_2 \times \frac{V_{CC} - \text{قيمة جهد السكون للقاعدة}}{\text{قيمة جهد السكون للقاعدة}}$$

وحيث أن الجهد بين القاعدة والباعث للترانزستور المصنوع من السليكون تعادل حوالى 0.6 V ، فان قيمة جهد القاعدة بالنسبة الى الخط المشترك تصبح حوالى 1.6 V ويكون

$$R_1 = 10\,000 \times \frac{9 - 1.6}{1.6} = 46\,250\ \Omega$$

ومن الممكن ان تختار قيمة مبدئية مقدارها $47\text{ k}\Omega$ للمقاومة R_1 . وحيث ان جهد السكون للمجمع يجب أن يقع بين V_{CC} وجهد السكون للباعث ($I_V =$) ، فيكون فرق الجهد بين طرفي R_L عندما يمر بها تيار 1 mA ما يعادل $45\text{ V} = (9 - 1) / 2$. كذلك .

$$R_L = 45\text{ V} / 1\text{ mA} = 45\text{ k}\Omega$$

ومن الممكن اختبار قيمة مقدارها $39\text{ k}\Omega$ للقاوم R_L ويصبح كسب الجهد بالتالى لهذا المكبر في حالة اللاحمل حوالى 200 . وعند توصيل حمل بالمكبر ، ينخفض كسب الجهد الفعال في العادة بطريقة ملحوظة [انظر أيضا الجزء ٣ — ١١] ويصل كسب الجهد المحتمل في حالة وجود الحمل حوالى 40 .

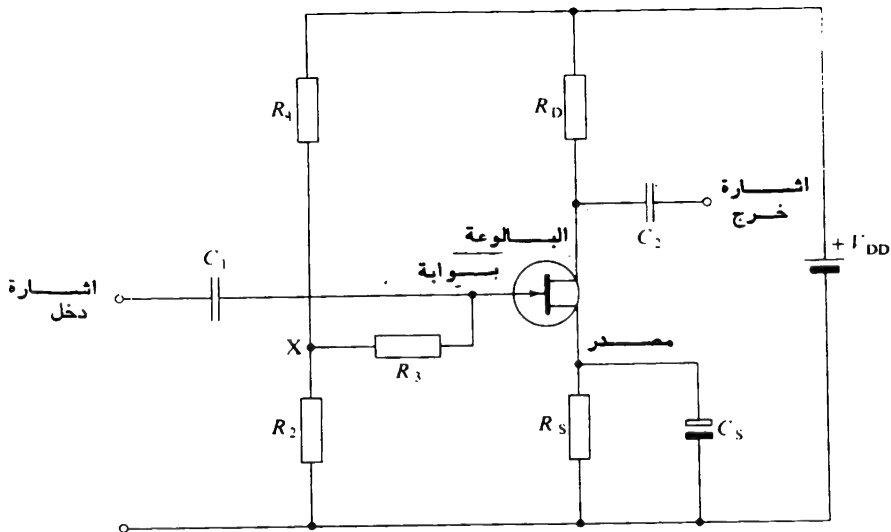
فإذا ظهر المكثف C_E فى شكل ١١ - ٦ كدائرة مفتوحة ، فان تيار الباعث كله ينساب خلال R_E . وينتج عن هذا تسليط تغذية خلفية مرتدة سالبة على المكبر ، وباستخدام القيم المحسوبة سابقا ، نجد ان كسب الجهد للمكبر يخفض بما يساوى 3 الى 5 عند اى عطل من هذا النوع ، كما سنرى فى الفصل الثالث عشر ، ومثل هذا النوع من الاعطال لا يسبب اى تلف للدائرة .

١١ - ٥ مكبرات ترانزستور التأثير المجالى

الانواع التى تستعمل بكثرة من ترانزستور التأثير - المجالى كمكبرات خطية هو بوابة وصلة ترانزستور التأثير المجالى ذات القناة السالبة والتى سبق ان وضحت فى الفصل التاسع .

والميزات الاساسية لوحدات ترانزستور التأثير المجالى بالنسبة الى وحدات الترانزستور ثنائى القطب المنافس هى كبر معاوقتها الداخلية [فى العادة حوالى مليون ميجا اوم او اكثر بالنسبة الى 1-2 k Ω فى حالة النبائط ثنائية القطب] . ويستخدم ترانزستور التأثير المجالى فى التطبيقات التى تعطى هذه الخاصية ميزة معينة .

ويوضح شكل ١١ - ٧ النوع الشائع لدائرة مكبر ذات مصدر مشترك تستخدم بوابة وصلة ترانزستور التأثير المجالى ذات القناة السالبة وعلى منوال الاستنفاد . وكما سبق توضيحه فى الفصل التاسع يستلزم الامر عند التشغيل العادى لترانزستور التأثير المجالى ان تكون وصلة البوابة الى المصدر عكسية الانحياز . وفى هذه الدائرة ، نحصل على جهد الانحياز بواسطة مقاومة انحياز ذاتية ، توصل على التوالى مع الكثرود المصدر



شكل ١١ - ٧ مكبر ذو مصدر مشترك يستخدم بوابة وصلة ترانزستور التأثير المجالى ذات القناة السالبة .

هذا وتقع القيمة المتوسطة للجهد الناتج بين طرفى المقاومة R_S بين جزء من الفولت و 2V او 3v طبقا لنوع ترانزستور التأثير الجالى . وكما وضح سابقا فى حالة الترانزستور ثنائى القطب . يقوم المكثف C_S بتقوية مكونات التيار المتردد المار من المصدر ويصبح الجهد بين طرفى المقاومة R_S من نوع التيار المستمر . وهنا يسلط الجهد الناتج من شبكة مقاومات مجزئ الجهد R_1 و R_2 عند النقطة X الى بوابة ترانزستور التأثير الجالى بواسطة المقاومة R_S . وتقل القيمة الموجبة لهذا الجهد عن قيمة جهد الكترود مصدر ترانزستور التأثير الجالى ولهذا تصبح وصلة البوابة عكسية الانحياز .

وتعمل الدائرة كما يلى ، تقلل الزيادة فى جهد الاشارة من الانحياز العكسى المسلط على بوابة ترانزستور التأثير الجالى ، كما تسبب فى الوقت نفسه زيادة لتيار البالوعة . وبالتالي يقل جهد البالوعة . اى ان المكبر يصبح عاكسا للطور . وتقل قيمة كسب الجهد لهذا النوع من المكبرات بصفة عامة ، كثيرا عن مكبر الترانزستور ثنائى القطب ، ويقع كسب الجهد فى حالة اللاحمل فى المدى من 5 الى 10 تقريبا . وبالمثل ، كما فى حالة الترانزستور ثنائى القطب ، ينخفض كسب الجهد بطريقة حادة اذا اظهر المكثف C_S دائرة مفتوحة .

ومع ذلك ، فالدائرة الموضحة ما هى الا نسخة اخرى من المكبر التقاربى بالتيار المتردد . اذ تعمل المكثفات C_1 و C_2 كنبائط مانعة لكل من جهد التيار المستمر واشارات التيار المتردد عند الترددات المنخفضة . ومن الممكن ان تستخدم فى هذه الدائرة قيم نمطية كالتالى .

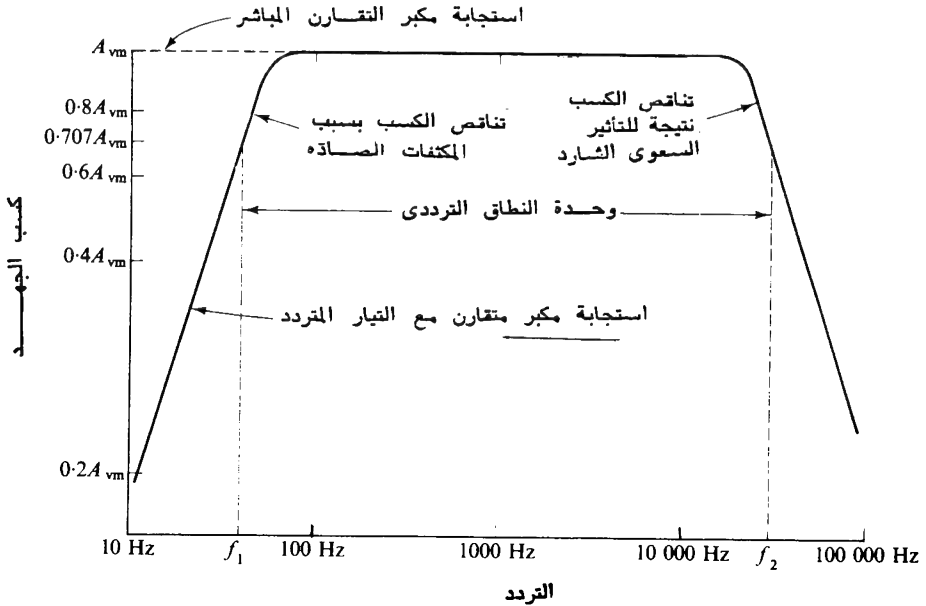
$V_{DD} = 18 \text{ V}$	$R_S = 10 \text{ k}\Omega$
$R_1 = 15 \text{ k}\Omega$	$C_S = 5 \mu\text{F or greater}$
$R_2 = 3.3 \text{ k}\Omega$	$C_1 = 47 \text{ nF}$
$R_3 = 1 \text{ M}\Omega$	$C_2 = 50 \mu\text{F or greater}$
$R_D = 8.2 \text{ k}\Omega$	

١١ - ٦ عرض النطاق الترددى للمكبر

سبق ان وضحنا فى الباب السادس باختصار عرض النطاق الترددى فيما يتعلق بدوائر الرنين ، وسيختص هذا الجزء بمعالجة عرض النطاق الترددى للمكبرات .

ان عرض النطاق الترددى للمكبر ما هو الا نطاق الترددات التى يعطى عندها المكبر كسبا يكاد ان يكون ثابت القيمة . ويوضح شكل ١١ - ٨ الطريقة الشائعة لتعريف النطاق الترددى للمكبر . يعرف هذا المنحنى ، بمنحنى الاستجابة الترددى للمكبر ، ويبين كيف يتغير كسب الجهد مع التردد

ان معرفة منحنى الاستجابة الترددى للمكبر لهى امر حيوى ، لكى يتسنى فهم أداء المكبر فى كل مداه الترددى . ونحصل فى العادة على هذه الخواص بتسليط اشارة تيار متردد بين طرفى دخل المكبر ، ونبدأ فى زيادة تردد الاشارة تدريجيا . من قيم منخفضة حتى تصل الى قيمة مرتفعة جدا . وعند



شكل ١١ - ٨ منحنى الاستجابة الترددى لمكبر

كل قيمة للتردد ، تدون قيمة ج.م.م جهد الخرج وتحسب قيمة كسب الجهد ويرسم المنحنى بمعرفة قيم الكسب والتردد . ومن الممكن أن تتم مثل هذه الأنواع من الاختبارات على خط الإنتاج مباشرة باستخدام معدات أوتوماتيكية لترسم المنحنيات إما على مرسمة اشعة الكاثود للتنبذبات [انظر الفصل السادس عشر] أو على ورق رسم بيانى .

وسيلأخذ القارئ مقياس رسم غير عادى على كل من محورى الرسم البيانى فعند رسم هذه المنحنيات ، ترسم النتائج باستخدام مقياس رسم لوغاريتمى بحيث تمتد النتائج عند أدنى نهاية مدى التردد وتضغط النتائج عند أعلى نهاية المدى . وتمثل قيم الكسب المرسومة على المحور الراسى القيم العددية لكسب الجهد إلا أنه فى التطبيق العملى ، يمثل كسب الجهد دائما بدلالة الديسيبل ، حيث كسب الجهد بالديسيبل = [القيم العددية لكسب الجهد] $20 \log_{10}$ فاذا كانت القيمة العددية لكسب الجهد هى 100 فان الكسب بالديسيبل يكون $20 \times \log_{10} 100 = 20 \times 2 = 40 \text{ dB}$

ويعتبر المنحنى المبين بالخط المتطوى فى شكل ١١ - ٨ منحنى نمطى للمكبرات المتقارنة بالتيار المتردد والتى سبق وضعها . ويعرف عرض

النطاق الترددى لهذا النوع من المكبرات بنطاق الترددات ، f_2-f_1 ، والتى قيمة الجهد بينهما ما يساوى او يزيد عن $0.707 A_{vm}$ ، حيث تمثل A_{vm} أكبر قيمة لكسب الجهد . هذا ولم يتم اختيار الرقم 0.707 بطريقة عفوية حيث انه يتمشى مع الحالة التى تساوى عندها كسب القدرة [لا كسب الجهد] نصف اقصى قيمة ممكنة لها ، فاذا كانت $f_2 = 30 \text{ kHz}$ ، $f_1 = 40 \text{ Hz}$ مثلا ، فان عرض النطاق الترددى يعادل 29960 Hz ، والذى يمكن اعتباره من وجهة النظر الواقعية معادلا لـ 30 kHz أى انه يساوى بالتقريب f_2 . ولقد عرّفت الترددات f_1 و f_2 فى المراجع العملية بعدة أسماء منها ترددات ركنية « زاوية » ، ترددات قطع ، نقطتى الانهيار ، ونقطتى منتصف القدرة .

وتجدر الإشارة فى هذا المجال الى أسباب ظهور منحنى الاستجابة للتردد بهذا الشكل . ولقد سبق أن أشرنا الى سبب انخفاض كسب الجهد عند الترددات المنخفضة فى مجال توضيح عمل المكثفات المانعة المستخدمة مع مكبرات التقارن بالتيار المتردد . اذ ترددات مفاعلة المكثفات المانعة عند انخفاض تردد الإشارة الى النقطة التى تمتص عندها جزءا ملموسا من اشارتى الدخل والخرج . وهكذا يقلل مكثف الدخل المانع ، فى هذه الحالة ، جزءا من إشارة الدخل التى تسلط فعليا على منطقة القاعدة [أو البوابة] للترانزستور ، مما يؤدي الى انخفاض كل من جهد الخرج وكسب الجهد .

وتستطيع طائفة من المكبرات تسمى مكبرات التيار المستمر ، والتى تضم طوائف جزئية من **مكبرات التقارن والمكبرات القطاعية** ، ان تكبر بالنسبة لجميع الترددات ابتداء من التيار المستمر [تردد قيمته صفر] الى تردد القطع العلوى لها . ويمتد منحنى الاستجابة فى شكل ١١ — ٨ بالخط المتقطع الى الترددات بقيمة صفر لمثل هذا النوع من المكبرات .

هذا وترتبط اشارة الدخل مباشرة بدخل المرحلة الاولى لمكبرات التقارن المباشر ويتم التوصيل مباشرة بين المراحل المتتالية .

وتعتبر المكبرات التشغيلية التى ستوضح فى الفصل الرابع عشر امثلة واقعية لمثل هذا النوع .

اما فى المكبرات القطاعية ، فان الإشارة المستمرة الداخلة تقطع الى سلسلة من النبضات باستخدام مفتاح من مادة شبه موصلة ، والتى تحول بعدئذ الى اشارة مترددة وتوصف هذه العملية فى بعض الاحيان « بالتضمين » . وتكبر هذه الإشارة بواسطة مكبر تقارن متردد وعند خرج المكبر القطاع يستخلص المضمنة من الإشارة المترددة لتعطى اشارة مستمرة . وتستخدم المكبرات القطاعية بكثرة فى تطبيقات اجهزة القياس حين يراد قياس كمية صغيرة جدا من الجهد .

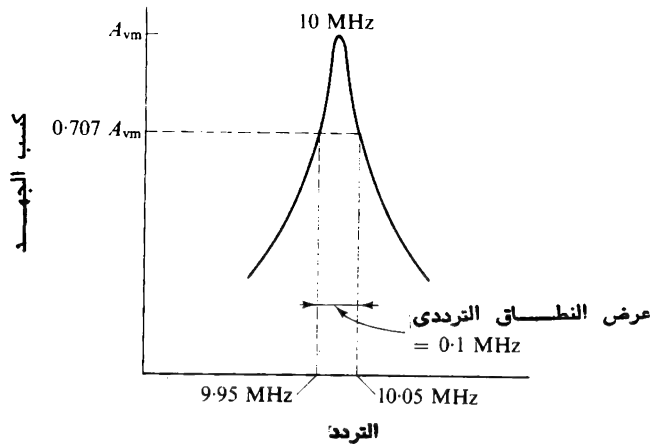
هذا ويرجع السبب فى انخفاض كسب الجهد ، عند نهاية التردد المرتفع

لنحني الاستجابة الترددي ، الى تأثير معين لم تسبق مناقشته . فنظرا لان الاسلاك والمكونات في دائرة المكبر تكون منفصلة عن هيكل المعدات ، فان كلا منهما يمتلك ذاتية تكون متلازمة معه وتظهر بين اى منها وبين الهيكل وتعرف هذه المكثفات بالسعات الشاردة هذا ومن ضمن صفات اى مكثف أن مفاعلة تقل بارتفاع التردد [تذكر $X_C = 1/(2\pi fC)$] فعند الترددات المرتفعة ، تقل مفاعلة المكثفات الشاردة وتستأثر بالتيار من المكبر ، حتى تؤدي الى دائرة قصر كاملة على خرج المكبر عند الترددات العالية جدا . ويؤدي هذا الى انخفاض متزايد في كسب الجهد عند الترددات العالية .

١١ - ٧ مكبر موالف

يعطى المكبر الموالف قيمة كسب جهد مرتفع على نطاق ضيق من الترددات وقيم كسب منخفضة جدا عند كل الترددات الاخرى .

تستخدم المكبرات المولفة عادة في تطبيقات الترددات العالية ، ويوضح شكل ١١ - ٩ منحنى استجابة [نمطى] لمكبر موالف عند تردد [اللاسلكى] [راديو] ونحصل على عرض النطاق الترددي الضيق الموضح في الشكل (0.1 MHz عند تردد 10 MHz) باستخدام دوائر مولفة ذات معامل جودة Q مرتفع .



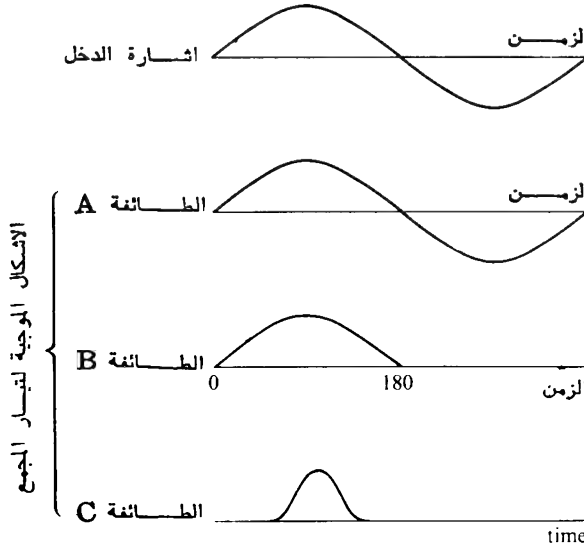
شكل ١١ - ٩ منحنى الاستجابة الترددي لمكبر موالف .

١١ - ٨ مكبرات القدرة

مكبرات القدرة هي المكبرات التي يكون الاعتبار الاول فيها للقدرة المعطاة للحمل باكبر كفاءة ممكنة [ومن الممكن أن يكون الحمل عبارة عن نبيلة

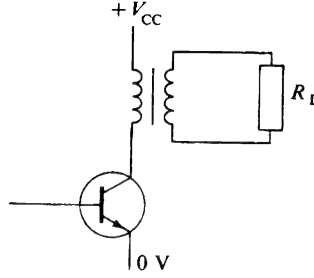
الكتروميكانيكية مثل المجهار او قياس محرك كهربائى . ويكتسب الشكل الموجى للخرج من مكبرات القدرة فى بعض الحالات تشوها قليلا ، وتعتمد كمية التشويه المقبولة على نوع التطبيق .

وعند هذا الحد ، ربما يجدر بنا مناقشة طوائف او درجات تشغيل المكبّر، ففى احدى الطرق المستخدمة لتقسيم عمل المكبرات تعتبر دورة الاشارة التى ينساب التيار خلالها فى ترانزستور الخرج هى الفاصل . وتوجد هناك ثلاثة طوائف اجمالية تعرف بالطائفة A والطائفة B والطائفة C ، ويوضح شكل ١١ - ١٠ الاشكال الموجية لتيار المجمع لكل منها .



شكل ١١ - ١٠ الاشكال الموجية لتيار المجمع فى مكبرات الطائفة A والطائفة B والطائفة C

ففى مكبرات الطائفة A ، ينساب التيار فى ترانزستور الخرج خلال فترة الذبذبة الكاملة لدورة الدخل ، ويتطابق اسلوب العمل فى هذه الحالة مع اسلوب مكبرات الجهد التى سبق توضيحها فى هذا الباب . ومن الجدير بالذكر ان اكبر كفاءة قدرة محولة بين نظام مصدر القدرة والحمل للمكبّر من النوع الموضح فى شكل ١١ - ٦ عندما ما يعمل على اسلوب الطائفة A لا تتعدى 25% وتزداد كفاءة المكبر اذا تقارن الحمل مع الدائرة عن طريق محول كما هو مبين فى شكل ١١ - ١١ . وتكون قيمة اكبر كفاءة فى هذه الحالة 50% من الوجهة النظرية ولسوء الحظ يمثل محول الخرج فى مثل هذه الدوائر واحدا من المصادر الرئيسية لتشويه الاشارة ، ويؤدى الى اداء غير جيد فى كثير من مكبرات القدرة الرخيصة . ومن الناحية الواقعية، تقل ، قيم الكفاءة التى نحصل عليها بكثير عن هذه القيم .



شكل ١١ - ١١ محول متقارن مع الحمل .

أما في مكبر الطائفة B ، فإن التيار ينساب في ترانزستور الخرج خلال نصف فترة الذبذبة الكاملة لدورة الدخل [انظر شكل ١١ - ١٠] وينبغي أن نقرر بأن اكبر قيمة للكفاءة من الناحية النظرية تبلغ 78.5% في هذه الحالة . وتعمل معظم مكبرات قدرة التردد السمعى بأسلوب الطائفة B [انظر مكبرات دفع وجذب فيما بعد] أو بأسلوب يقترب من أسلوب هذه الطائفة ويضحي بخطية الكسب هنا على حساب الكفاءة .

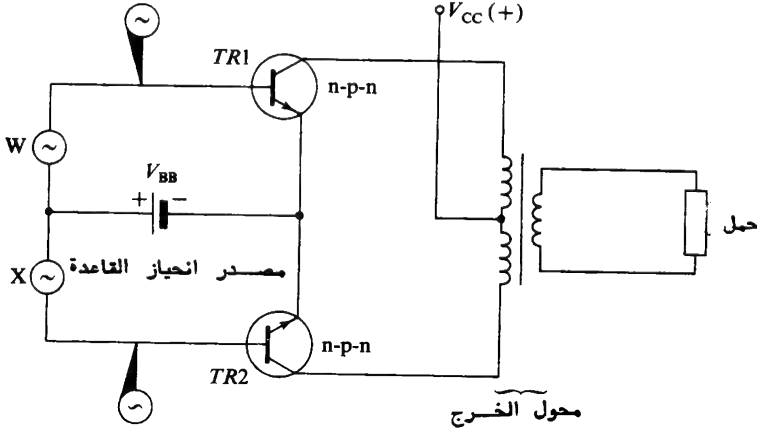
وفي مكبر الطائفة C ، ينساب التيار في ترانزستور الخرج اثناء فترة تقل عن نصف موجة إشارة الدخل . وتكون كفاءة هذا النوع أحسن من مكبرات الطائفة B ، ولكنها لا تستخدم في مكبرات القدرة للتردد السمعى بسبب ما يجلبه هذا النوع من تشوه غير محتمل ومع هذه الطائفة تستخدم بعض المكبرات دوائر موالفة مكونة من LC كما يتبع في حالة المكبرات التي تعمل على ترددات اللاسلكى والذبذبات .

مكبرات جذب - دفع : كنتيجة لفحص الشكل الموجى لتيار المجمع للمكبر الذى يعمل في الطائفة B [انظر شكل ١١ - ١٠] يتبين انه ليس من الممكن استخدام ترانزستور واحد فقط ، حيث أن شكل موجة التيار ان هو الا نسخة مترجمة من تقويم إشارة الدخل . وحتى يتسنى ازالة هذا العيب، تستخدم وحدتان من الترانزستور لترجعا شكل موجية الخرج الى شكلها الصحيح . ويوضح شكل ١١ - ١٢ الترتيب الشائعة لدائرة تعمل في الطائفة B كمكبر دفعى - جذبى وليست صورة هذه الدائرة مقتصرة على الطائفة B ، وانما يمكن استخدامها بالاضافة مع وحدات ترانزستور منحدزة لى تعمل في الطائفة A . وينبغي أن نوجه الانتباه الان الى نظام عمل دوائر طائفة B .

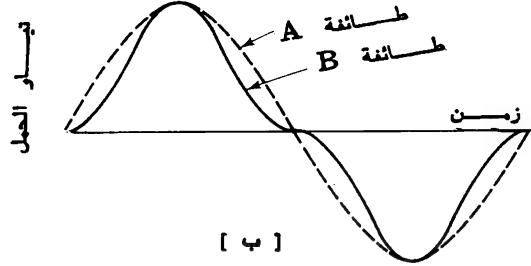
وقد يتذكر القارئ طبقا لخواص وحدات الترانزستور أن الامر يستلزم انحيازاً آمبياً بين القاعدة والباعث قبل أن يبدأ انسياب تيار المجمع . ولتهيئة الظروف الملائمة للعمل مع مكبر الطائفة B ، يجب أن تساوى الـ ق.د.ك لبطارية انحياز القاعدة في شكل ١١ - ١٠ ، قيمة جهد القطع للترانزستور بالضبط ، بحيث تصبح قيمة تيار السكون في كلتا وحدتى

الترانزستور مساوية للصفر . وبالتالي لا ينساب التيار فى أى من نصفي الملف الابتدائى للمحول الى أن تسلط اشارة تدفع وحدة من وحدتى الترانزستور لكى تصبح أمامية الانحياز .

ولتشغيل المكبر دفع - جذب المبين فى شكل ١١ - ١٢ ، تدعو الحاجة الى اشارتى دخل X و W وتضاد كل اشارة الاشارة الاخرى ، [لتعاكسهما] كما هو موضح بالشكل ،



[١]



[ب]

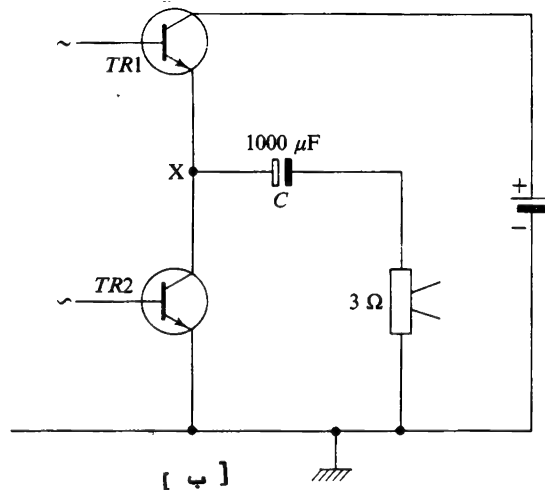
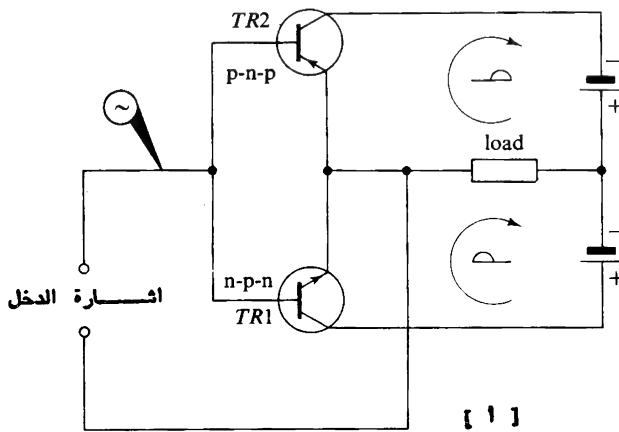
شكل ١١ - ١٢ فكرة عمل مكبرات دفع وجذب [ب] الاشكال الموجية لتيار الحمل

ويمكن الحصول عليهما من الملف الثانوى لمحول ذى نقطة تفرع متوسطة او من دائرة شطر الطور الالكترونية هذا ويسلط جهد موجب على قاعدة الترانزستور TR_1 لتصبح موصلة خلال النصف الاول من دورة اشارة الدخل W ، وتسمح للتيار ايضا فى الحمل [حيث ان جهدا سالبا يسلط على قاعدة الترانزستور TR_2 فى نفس الفترة الزمنية ، فانها تصبح فى حالة قطع ، وبالتالي لا ينساب أى تيار فى النصف السفلى للملف الابتدائى لمحول الخرج خلال هذه الفترة .

وينعكس الحال خلال النصف الثانى لدورة كل من موجتى الدخل أى أن

TR1 يصبح فى حالة قطع ويصبح TR2 فى حالة توصيل . وهكذا ينساب التيار فى النصف السفلى للملف الابتدائى ذو نقطة التفرع المتوسطة لمحول الخرج ولكنه لا ينساب فى النصف العلوى . ويؤدى ذلك الى تأثير عكسي بالنسبة لاتجاه التيار المنساب خلال الحمل . هذا وتكرر العملية السابقة خلال كل دورة من اشارة موجة الدخل ، وبهذه الطريقة ، يتمثل الشكل الموجى للتيار المنساب خلال الحمل مع اشارة الدخل .

ولسوء الحظ ، تنحنى الخواص التى تربط تيار المجمع بجهد الدخل للترانزستور ثنائى القطب قرب نقطة القطع . ويؤدى هذا الى تأثير على مكبر الطائفة اذ يشوه المكبر الشكل الموجى عند المنطقة التى تصبح قيمة التيار عندها مساوية للصفر . وفى شكل ١١ - ١٢ [ب] يتضح هذا التأثير بالنسبة للشكل الموجى . ويعرف هذا النوع من التشوه بالتشوه المفرقى [المشترك] وتدعو احدى الطرق للاقلال من قيمة هذا التشوه [الى



شكل ١١ - ١٢ الدوائر الاساسية لمرحل قدرة الخرج للتردد السمعى بدون محول

زيادة قيمة جهد الانحياز للقاعدة V_{BB} ، بحيث يعمل المكبر بصفة جزئية فى كل من الطائفتين A و B . وينسب هذا الاسلوب من العمل للطائفة AB .

فاذا كان جهد انحياز القاعدة كبيرا بالدرجة الكافية ، تستطيع مكبرات الدفع — جذب أن تعمل فى الطائفة A .

مراحل خرج قدرة بدون محول :

من الافضل تجنب تصميم المكبرات باستعمال المحولات حينما يكون ذلك ممكنا والسبب هو انها غالية الثمن وكبيرة الحجم وتسبب تشوها للاشارة . ويوضح شكل ١١ — ١٣ دائرتين اساسيتين لمرحلتى خرج قدرة بدون محول .

وتستخدم الدائرة التى فى شكل ١١ — ١٣ [ا] ترانزستور سى — م — سى ، وترانزستور م — سى — م لهما خواص متماثلة . وتوصف هذه الانواع من ازواج الترانزستور بأن لها تماثل متتام . وتسلب اشارة الدخل المشترك على كل من نقطتى القاعدة لوحدتى الترانزستور ، ويوصل ترانزستور واحد فقط خلال كل نصف دورة لموجة الدخل . فيصبح الترانزستور TR1 موصلا خلال نصف الدورة الموجب ، وينساب التيار خلال الحمل من الشمال الى اليمين . ويوصل الترانزستور TR2 خلال نصف الدورة السالب لاشارة الدخل وينعكس اتجاه تيار الحمل .

ويوضح شكل ١١ — ١٣ [ب] نوعا شائعا لدائرة الخرج ، يستخدم مصدر قدرة واحد مع وحدتى ترانزستور من نفس النوع . وتعمل هذه الدائرة فى الطائفة AB بحيث تبلغ قيمة جهد توصيلة الباعث المشترك حوالى نصف قيمة مقدار جهد المصدر . هذا وتولد دائرة الكترونية اشارتين متضادتين [متعاكستى الطور] وتسلب الاشارتان على قاعدتى وحدتى الترانزستور ، ويتسبب عن اشارة الدخل توصيلا اكثر شدة لوحدة من وحدتى الترانزستور وتوصيل اقل شدة للوحدة الاخرى . وتكون النتيجة أن القطبية اللحظية لنقطة X فى شكل ١١ — ١٣ [ب] تتبع تغيرات اشارة الدخل . وينتقل هذا التغير فى الجهد خلال المكثف العائق C الى الحمل .

١١-٩ الترانزستور كمفتاح

للمفتاح الالكترونى الصفات الاتية :

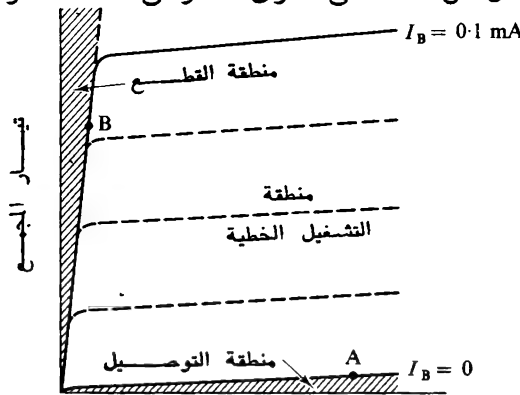
[ا] عندما يكون مفتوحا OFF ، لا ينساب خلاله تيار ويظهر جهد المصدر بالكامل بين طرفيه .

[ب] عندما يكون مغلقا ON ، ينساب خلاله تيار ذو قيمة كبيرة ويكون فرق الجهد بين طرفى المفتاح من الناحية الواقعية مساويا للصفر .

تستخدم كل من وحدتى الترانزستور الثنائية القطب وترانزستور التأثير — المجالى كمفاتيح الكترونية ، ولكن نظرا لبعض الاعتبارات . فان خواص هاتين الوحدتين من الترانزستور لا تحقق المثالية المذكورة سابقا .

ولتوضيح هذه النقطة، دعنا نأخذ فى الاعتبار المنحنيات المميزة لخرج الباعث المشترك المبينة فى شكل ١١ — ١٤ . يقال أن الترانزستور مغلق ON او تشبع عندما يعمل عند النقطة B من المنحنيات المميزة . وفى هذه الحالة، يمر بوحدة الترانزستور تيار ذو قيمة كبيرة [مثلا 10 mA] وتصبح قيمة الجهد بين طرفيه [المجمع والباعث] عند اقل قيمة لها فى حدود 0.1V الى 0.3V وعندما يعمل الترانزستور بأسلوب الباعث المشترك ، يصبح للترانزستور مقاومة ذات قيمة معينة بصفة دائمة ويظهر بين طرفيه جهد ذو قيمة صغيرة . هذا ويقال أن الترانزستور الذى يعمل عند النقطة B فى القاع ، حيث يصل جهد مجعته الى اقل قيمة ، ويصبح الترانزستور فى حالة عدم توصيل OFF [فى حالة قطع] عندما تقل قيمة تيار القاعدة الى الصفر ، وفى هذه الحالة، يقترب الترانزستور من حالة المفتاح المثالى ، حيث يمكن ان تقع قيمة تيار التسرب خلال الترانزستور فى حدود بضعة نانو أمبير [$1 \text{ nA} = 10^{-9} \text{ A}$] .

وعند استخدام الترانزستور كمفتاح ، فانه يصبح اما فى حالة قطع او فى حالة توصيل طول الوقت ويمكن ان يستغرق الزمن الذى يأخذه الترانزستور لينتقل من حالة الى اخرى حوالى 20 نانو ثانية تقريبا

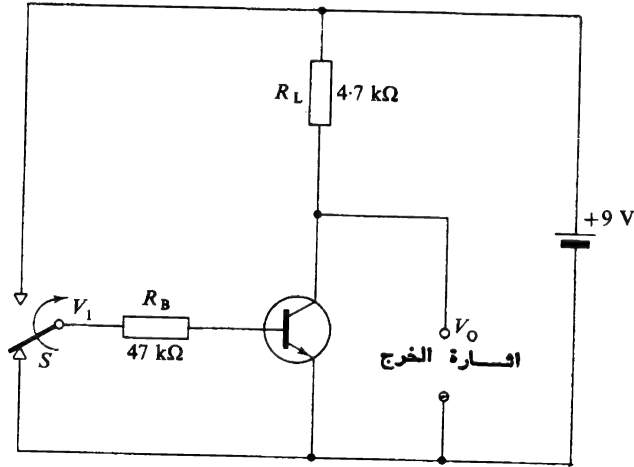


شكل ١١ — ١٤ المساحات الموضحة على خواص الخرج للترانزستورات ثنائية القطب المستخدمة فى عمليات القطع والتوصيل

١١ — ١٠ الدائرة الاساسية لمفتاح ترانزستور

يوضح شكل ١١ — ١٥ دائرة المفتاح الالكترونى البدائى . وفى هذه الحالة ، تكون قيمة مقاومة القاعدة R_B منخفضة اذا قورنت بقيمتها 330 kΩ المستخدمة فى حالة المكبر الخطى [شكل ١١ — ٣] . وكما

سنرى فيما يلى ، اختيرت القيمة المنخفضة للمقاومة $47\text{k}\Omega$ فى شكل ١١ - ١٥ للتأكد من ان الترانزستور خلال عمله كفتاح يستطيع أن يقطع بالكامل .



شكل ١١ - ١٥ الدائرة الاساسية لفتاح الكرونى [بوابة لاسماح] .

ولنأخذ الان فى الاعتبار عمل الدائرة عند مايكون فصل المفتاح S فى الوضع المبين . وفى هذه الحالة ، تكون قيمة كل من V_I و تيار القاعدة مساوية للصفر . وفى اسلوب العمل هذا ، يصبح الترانزستور قاطعاً [فيها يناظر العمل عند النقطة A من منحنى الخواص فى شكل [١١ - ١٤] ويكون تيار المجمع مساوياً للصفر . وفى حالة اللاحمل بين طرفى الخرج ، لا ينساب أى تيار خلال المقاومة R_L ولا يتساوى جهد الخرج مع قيمة جهد المصدر [$+9\text{V}$]

وعند تحريك فصل المفتاح S الى وضعه العلوى ، ينساب التيار فى قاعدة الترانزستور خلال المقاومة R_B على أن تكون القيمة المختارة للمقاومة R_B صغيرة صغراً كافياً . وللتأكد من عودة الترانزستور الى التشبع ، فى هذه الحالة ، فان قيمة جهد الخرج تقع فى المدى من 0.1V الى 0.3V ويمكن استخدام العلاقات الاتية ، كإرشاد تقريبي لقيم المكونات المستخدمة فى الدائرة .

$$\frac{\text{قيمة جهد المصدر}}{\text{أكبر قيمة لتيار المجمع}} = R_L$$

$$R_L \times \text{قيمة كسب التيار للترانزستور} = R_B$$

١١ - ١١ الدلالة الثنائية

ان النظام الثنائي ما هو الا عبارة عن نظام ذى مستويين او نظام ذى طبقتين ، حيث يتخذ خرج اشارة كل عنصر فى هذا النظام ، بكل تأكيد ، حالة واحدة فقط من حالتين متميزتين فيتخذ الرقم فى نظام الاعداد الثنائية قيمة وحيدة من قيمتين اما الصفر (0) او الوحدة (1) . وفى علم الالكترونيات ، وتستعمل دائما كلمة بيت *bit* وهى اختصار كلمتى رقم ثنائى فى اللغة الانجليزية *binary digit* ، عند وصف كيفية تشغيل النظم المنطقية .

وبما ان جهد الخرج من دائرة القطع او التوصيل الالكترونية اما ان يكون صفرا او يكون له جهد موجب [انظر شكل ١١ - ١٥] ، فانه من الممكن اعتبارها كدائرة تعمل بالرموز الاصطلاحية الثنائية . وانه لامر مألوف فى التطبيق ان يوصف جهد الخرج بالمنطق «0» عندما تكون قيمة الفعلية تساوى الصفر ، بينما يوصف بالمنطق «1» عندما يتخذ قيمة عالية . ويعرف هذا الوصف بالدلالة المنطقية الموجبة .

علما بأن القيمة الفعلية لجهد الخرج من الدائرة نفسها تصبح قليلة المغذى ، حيث يمكن وصف نطاق من الجهد فى المدى من 0V الى 0.5V مثلا بالمنطق «0» بينما يوصف النطاق من الجهد فى المدى من 4.5V الى 9V مثلا بالمنطق «1» ويقع جهد الخرج فى واحد من هذين النطاقين عند التشغيل ويتخذ له قيمة بين هذين المستويين المنطقيين فى فترة الزمن القصيرة جدا عند الانتقال من حالة الى حالة اخرى .

١١ - ١٢ بوابة الالاسماح المنطقية

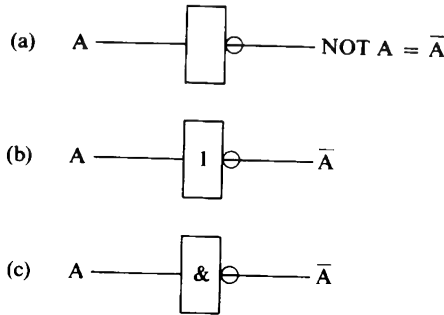
يعرف عنصر الدائرة الثنائية او العنصر المنطقى ، كما يسمى فى بعض الاحيان بالبوابة الالكترونية ويرجع السبب فى هذه التسمية الى العنصر المنطقى الذى اما ان يكون مفتوحا ليسمح بانسياب المعلومات ، او يمكن ان يكون مغلقا لمنعها . ويعطى لكل بوابة على حدة اسم معين يمكن ، لاقصى حد ممكن ، ان يصف الوظيفة التى تؤديها . فواحدة من هذه البوابات مثلا هى بوابة الالاسماح NOT .

وكما عرض فى الفصل ١١ - ١١ تستطيع كمية ثنائية او متغير ثنائى ان تتخذ قيمة واحدة فقط من قيمتين عند اية لحظة زمن . وحيث ان الكمية الثنائية تستطيع ان تتخذ اما القيمة «1» او القيمة «0» فانها تكون NOT «I» عندما تتخذ القيمة «0» وتكون NOT «O» عندما تتخذ القيمة «1» وتوصف اية دائرة الكترونية ، بخط دخل وحيد له اشارة خرج تتخذ قيمة منطقية بعكس اشارة الدخل ، ببوابة لاسماح NOT . وقد اشتق هذا الاسم بكل بساطة من منطلق الحقيقة ان اشارة الخرج NOT تساوى القيمة

المنطقية لاشارة الدخل . وفى مثل هذه الدوائر ، يقال ان الخرج هو المتم المنطى أو العاكس المنطقى لاشارة الدخل ويوضح شكل ١١ - ١٦ الرموز التقليدية لمثل هذا النوع من دوائر البوابات وتمثل عملية التعاكس المنطقى ببساطة . بوضع شرطة أفقية على الاشارة المسطرة على دخل البوابة . وهكذا

$$A = \text{NOT } A = \text{اشارة الخرج}$$

ويوضح شكل ١١ - ١٥ دائرة نفى بدائية NOT ، حيث يكافىء الجهد V_1 الاشارة A فى شكل ١١ - ١٦ ، ويكافىء الجهد V_0 الاشارة A .

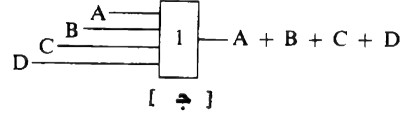
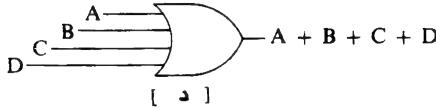
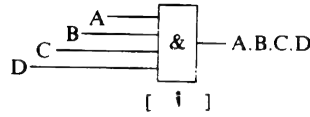
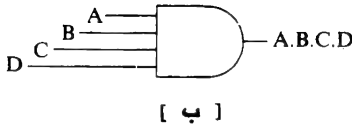


شكل ١١ - ١٦ دوائر الرموز المستخدمة لبوابة الالامح NOT .

وحيث ان شكل ١١ - ١٥ يحتوى على مقاومات وترانزستور فقط ، فانها توصف ببوابة الالامح NOT المنطقية من الترانزستور والمقاوم RTL وتعتبر مجموعة البوابات المنطقية من الترانزستور والمقاوم هى اول الدوائر التى صنعت فى شكل دوائر متكاملة [انظر ايضا الباب الثانى عشر] . وقد حل محل هذا النوع دوائر اخرى اكثر تعقيدا ستوصف فيما بعد فى هذا الباب .

١١ - ١٣ بوابة و (AND) وبوابة أو (OR)

تتخذ بوابة « و » (AND) اكثر من خط دخل واحد وتنتج اشارة المنطق «1» عند طرفى خرجها اذا ، واذا فقط ، كان المنطق «1» مسلطا على كل خط من خطوط الدخل فى نفس الوقت . ويشترك اسم البوابة من العبارة كما يلى . فلنفرض ان للبوابة اربعة خطوط دخل A و B و C و D كما هو موضح فى شكل ١١ - ١٧ [1] ، لذا يصبح الخرج من البوابة المنطقية «1» اذا ، واذا فقط كانت جميع الخطوط A AND B AND C AND D مغذاة باشارة المنطق 1 فى نفس الوقت . فاذا سلب المنطق «0» على اى دخل منها ، فان خرج البوابة يصبح ايضا «0» .



شكل ١١ - ١٧ ، يبين [ا] و [ب] الرموز المستخدمة لبوابات AND و يوضح [ج] و [د] الرموز المستخدمة لبوابات OR

وتمثل عبارة البوابة المنطقية AND بكتابة قائمة لمتغيرات الدخل ، على أن تفصل كل منهما عن الأخرى بنقطة (« . ») كما يلي :

$$\text{الخرج من البوابة} = A.B.C.D$$

ولبوابة OR أكثر من خط واحد للدخل ، لكنها تولد المنطق « I » عند خرجها كلما تم تسليط المنطق « I » على واحد أو أكثر من خطوط دخلها .
لنأخذ الآن في الاعتبار البوابة OR في شكل ١١ - ١٧ [ج] . أنها بتوليد إشارة خرج بالمنطق « 1 » إذا سيطر المنطق « 1 » على A OR B OR C OR D .
فإذا تم تغذية جميع خطوط الدخل بإشارة المنطق « 0 » في نفس الوقت ، فإن خرج البوابة يصبح « 0 » فقط . وفي إحدى الطرق المستخدمة لتمثيل عبارة OR تكتب قائمة بمتغيرات الدخل ، على أن تفصل كل منها عن الأخرى بعلامة زائد + كما يلي :

$$\text{الخرج من البوابة} = A + B + C + D$$

١١ - ١٤ بسوابتي NAND و NOR

إن سمة الاشكال العملية للبوابات الالكترونية لتمثل في أنها تهيب ، بطريقة تكاد تكون ثابتة ، دالة NOT أو التعاكس المنطقي في صورة أو أخرى .

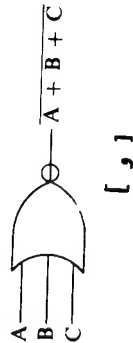
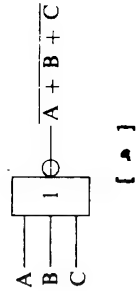
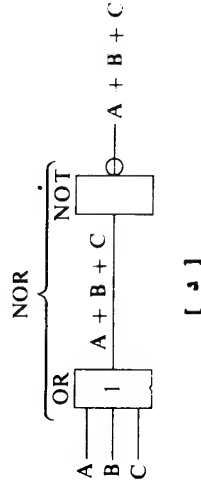
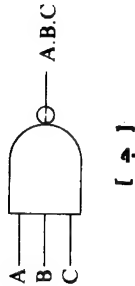
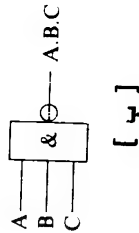
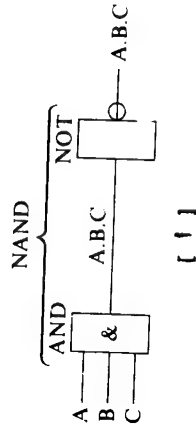
فبإتحاد بوابة AND مع بوابة NOT بالطريقة الموضحة في شكل ١١ - ١٨ [ا] يصبح خرج هذه المجموعة هو دالة NOT للخرج من بوابة AND . وتعرف الشبكة الناتجة ببوابة NAND : ويوضح شكل ١١ - ١٨ [ب] و [ج] الرموز التقليدية لهذه الدائرة . وحيث أن خرج هذه البوابة هو NOT (A AND B AND C) فانها تمثل بالتعبير الآتي :

$$\text{الخرج من بوابة} = A.B.C = \text{NAND}$$

تتولد الدالة المنطقية المعروفة بدالة NOR باتحاد بوابة OR مع NOT بالطريقة الموضحة في شكل ١١ - ١٨ [د] . ويصبح الخرج من البوابة هو دالة NOT للخرج من بوابة OR ، وهكذا ،

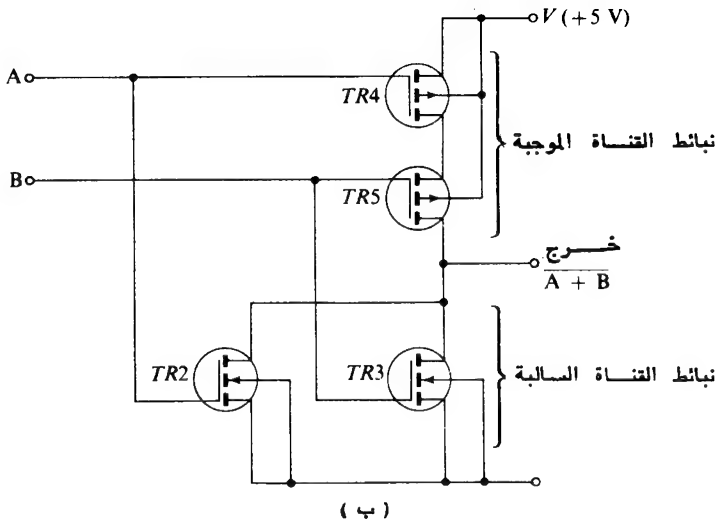
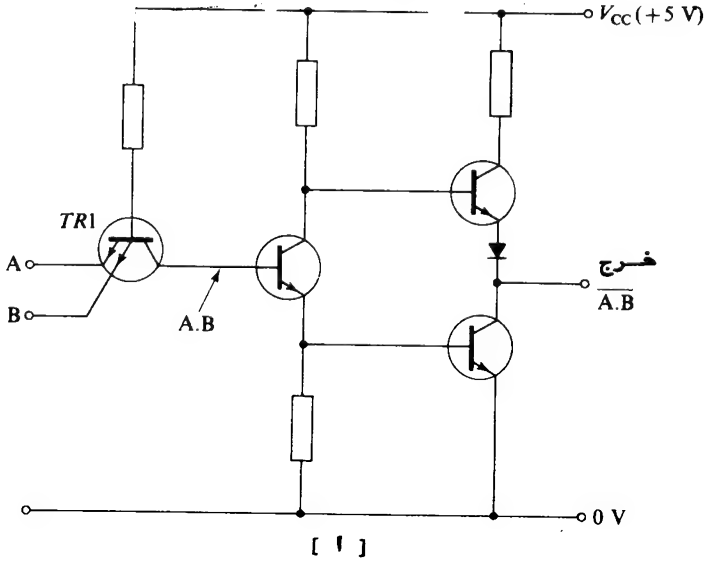
$$A + B + C = \text{NOR}$$

ويوضح شكل ١١ - ٨ [هـ] و [و] رموز دائرة بوابة NOR .



شكل ١١ - ١٨ ، فكرة بوابة NAND ومبنية في [١] مع رموز دالزتها في [ب] و [هـ] وتولد دالة NOR الاساسية بواسطة الدائرة [د] ، ويوضح [هـ] و [و] رموز هذه الدائرة .

ولكى نبين درجة تعقد دوائر المنطق الالكترونية الحديثة ، فقد اظهر الرسمين [١] ، [ب] من شكل ١١ - ١٩ توصيلات دائرتي دخل لدالتى NAND و NOR على التوالى . وتعتبر دائرة NAND بالرسم [١] جزءا من مجموعة منطق ترانزستور - ترانزستور (TTL) ، والتي تستخدم بكثرة فى التجارة والصناعة والمعدات المنزلية . وتتخذ هذه المجموعة المنطقية سمة تتمثل فى تعدد البواعث للترانزستور TR1 . وتولد هذه النبضية عند مجمعها الدالة AND المنطقية لاشارات الدخل . وبقية الدائرة هى بوابة NOT عالية السرعة . وتعتبر البوابة NOT ، بالرسم [ب] ،



شكل ١١ - ١٩ [١] ترانزستور ثنائى القطب من مجموعة منطق ترانزستور .

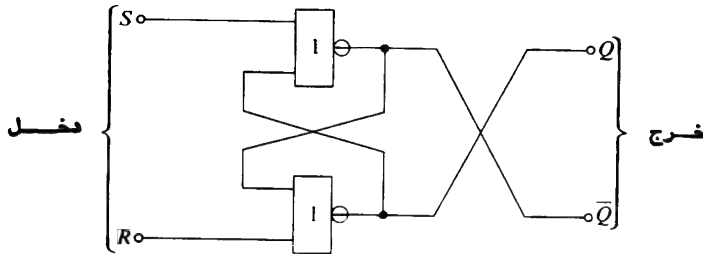
ترانزستور بوابة NAND أى TTL NAND و [ب بوابة NOR لاشباه
الأكس معدنية المتتامة أى CMOS NOR .

مثالا للمجموعة المنطقية لاشباه الموصلات الأكس معدنية المتتامة التى
تستخدم كلا من القناتين الموجبة والسالبة لوحـدات ترانزستور أشباه
الموصلات الأكس معدنية . وتستخدم هذه البوابات بكثرة فى الحسابات
الالكترونية المنقلة .

١١ - ١٥ شبكة الذاكرة للترانزستور (نظام S-R)

يقال ان النبطية لها « ذاكرة » اذا احتفظت باخر امر اعطى لها . فالقاطع
التلقائى على الخط مباشرة يعتبر مثالا بسيط لنبطية كهربائية لها ذاكرة .
فالضغط على زر البدء تؤدى الى قفل القطع التلقائى ، فيوصل مصدر القدرة
للحمل وعندئذ يتذكر القاطع التلقائى الحقيقة القائلة بأن آخر امر قد صدر
كان « البدء » ولا يفصل مصدر القدرة عن الحمل الا عند ضغط زر «التوليف»
مرة اخرى ، يتذكر القاطع آخر امر اعطى له بالتوقف ، فلا يغذى الحمل
بقدره اخرى عند تسييب الزر .

ويمكن تكوين دائرة ذاكرة منطقية من الدوائر الاساسية بالخواص التى
سبق ذكرها باستخدام وصلة صليبية من بوابتى NOR بالكيفية الموضحة
فى شكل ١١ - ٢٠ . هنا يكافئ خط الدخل S [الوضع Q — للخط] زر
« البدء » للقاطع التلقائى ، وينظر خط الدخل R [اعادة الوضع Q —
للخط] زر « التوقف » للقاطع . وتختلف هذه الدائرة عن القاطع التلقائى
فى ان لها خطى خرج متوفرين من الذاكرة [.



شكل ١١ - ٢٠ دائرة ذاكرة اساسية S-R او نظام ثانى الاستقرار

وهما بالرسم الخرج المعتاد او الخرج Q والخرج $(NOT Q)$ وهو المتمم
المنطقى لاشارة الخرج Q . وبذلك يصبح $Q = I$ عندما تكون $Q = 0$
والعكس بالعكس .

ويمكن شرح عمل الدائرة باختصار كما يلى : اذا تم تسليط اشارة منطق
«1» على الخط S [عند هذه اللحظة $R = 0$] ، فان خرج الخط Q

يحول الى «1» أو يوضع عند مستوى المنطق «1» . ويستمر الاحتفاظ بهذه الحالة بعد أن تستنزل الإشارة المسطرة على الخط S- الى الصفر . وتحول إشارة خرج الخط Q أو تعاد الى المنطق «0» بتسليط إشارة منطقية 1 على الخط — R [عند هذه اللحظة $S = 0$] .

ويشار الى الدوائر بالخواص السابقة بدوائر النطاق ، لان تسليط إشارة تحكم واحدة تؤدي الى « قفز » الخرج من حالة الى اخرى ، ويؤدي تسليط إشارة التحكم الثانية الى قفزة اخرى مرتدة للوضع الاصلى .

ويمكن بالمثل تركيب النطاقات من النوع الذى سبق وصفه من بوابات NAND

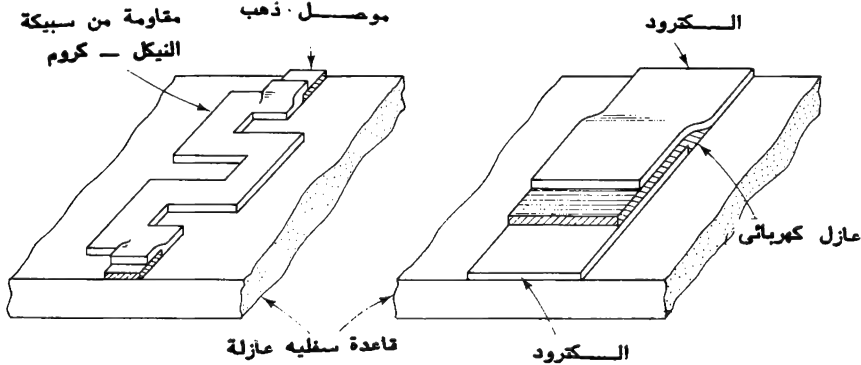
الفصل الثانى عشر

الالكترونيات الدقيقة والدوائر التكاملية

ادى التقدم فى تصغير الدوائر الى تحسينات فى محول المعدات مع خفض فى التكاليف ، والدوائر الدقيقة ، ببساطة ، هى تجميع مصغر جدا للمكونات الالكترونية ، علما بأن اكثر نوعين شائعين يعرفان بالدوائر الغشائية (film) والدوائر التكاملية ذوات القطعة الواحدة . ويرجع الى النوع الاخير ببساطة كدوائر تكاملية (ICs) .

١٢- ١ الدوائر الغشائية

تصنع الدائرة الغشائية بترسيب اغشية من المواد الموصلة على سطح عازل أو طبقة سفلية . ولقد ورد ذكر الدوائر الغشائية لأول مرة فى الفصل الثانى فيما يتعلق بالمقاومات الثابتة . وتصنف الدوائر الغشائية اما الى غشاء سميك او غشاء رقيق تبعا لتكنيك الصناعة المتبع . وفى أى من الحالتين فالغشاء رقيق طبقا لاي من المواصفات المعتادة ويوضح شكل ١٢ - ١ [أ] تركيب دائرة مقاومة غشائية . وقد تكون هذه المقاومة واحدة من عدة مقاومات يمكن ان ترسب على قاعدة سفلية بمقاس واحد سنتيمتر مربع أو اقل . ومن سمات هذا النوع من المقاومات امكانية تقليمها ميكانيكيا خلال مرحلة التصنيع لتهيئة قيم دقيقة للمقاومات . ويوضح شكل ١٢ - ١ [ب] النموذج الذى يمكن تصنيعه لكثف ذى قيمة منخفضة . وتضع ملفات الحثاة ذات القيم المنخفضة بترسيب مسار حلزوني مسطح



(أ)

(ب)

شكل ١٢ - ١ مكونات الدائرة الغشائية [أ] مقاوم و [ب] مكثف

من مادة موصلة فوق سطح القاعدة السفلية [وعموما ،
عندما تدعو الحاجة لمكثفات او سلفات بقيم عادية فمن الافضل التوصل اليها
باستخدام المكونات القياسية التي توصل خارجيا للدائرة الغشائية .

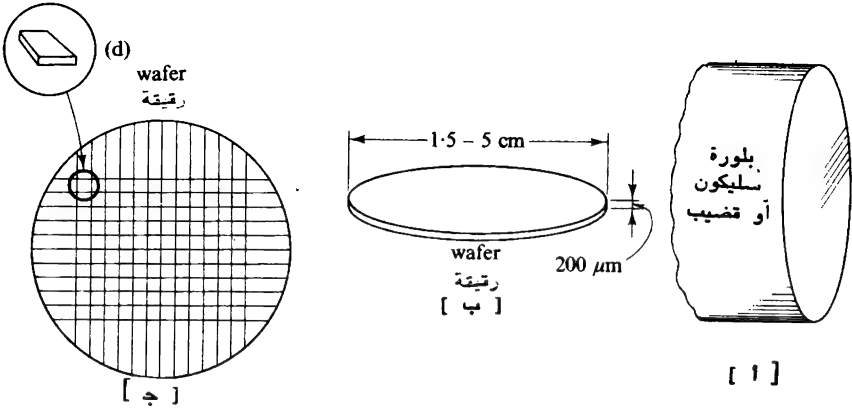
ومن الممكن تصنيع وحدات على شاكلة ترانزستور التأثير - المجالى
فى شكل غشائى .

١٢ - ٢ الدوائر التكاملية ذات القطعة الواحدة

تصنع جميع الدوائر التكاملية ذات القطعة الواحدة من مادة السليكون
حيث ان خواصها تعتبر أفضل ما يتلاءم مع عمليات تصنيع الدوائر التكاملية .
وتعنى عبارة « قطعة واحدة ببساطة ان الدائرة التكاملية مصنوعة من بلورة
واحدة . سيوضح فيما يلى عملية الانتاج الاساسية .

اولا ، تختزل السليكا [الرمل بصفة عامة] الى سليكون نقى ، ومنها تنمو
بلورة اسطوانية لها الأبعاد النمطية التالية ، الطول 30 cm (12.25 in)
والقطر يمكن أن يصل الى 5 cm (2 in) . تقطع بعد ذلك اسطوانة
السليكون بواسطة منشار ماس [المستخدم لقطع الزجاج] لتعطى عددا
كبيرا من الرقائق الاسطوانية ، والتي يصبح سمكها بعد الصقل حوالى
200 µm (0.008 in) ويوضح شكل ١٢ - ٢ [ا] و [ب] هذه العملية .

شريحة او رقيقة



شكل ١٢ - ٢ العمليات المتضمنة فى تصنيع الدوائر التكاملية ذات القاعدة الواحدة .

وبعد ان تكون رقيقة السليكون قد تعرضت لعدة عمليات ستوضح فيما
يلى ، فانها تحوى عددا كبيرا من الدوائر المنفردة . ومن الممكن ان يصبح
المقاس الطبيعى لهذه الدوائر صغيرا جدا ، حيث يبلغ طول ضلع مربعات
بعضها جزءا من المليمتر . ولفصل الدوائر المنفردة ، تقسم الشريحة
[الرقيقة] الى شريحتين او رقيقتين بواسطة عملية تماثل عملية قطع الزجاج .
ويوضح الرسمان [ج] و [د] من شكل ١٢ - ٢ هذه العملية .

يعرف طراز الدائرة التكاملية التى تنتج بالطريقة السابقة على انها الدائرة التكاملية الفوقية الترتيب المنبسطة [الفوقية الترتيب ترجمة لكلمة epitaxial الانجليزية والمشتقة من اللغة اليونانية ، والفوقية الترتيب المنبسطة تملئ أن الدائرة التكاملية قد رتبت فوق سطح منبسط] .

١٢ - ٣ صنع الدائرة المتكاملة ثنائية القطب

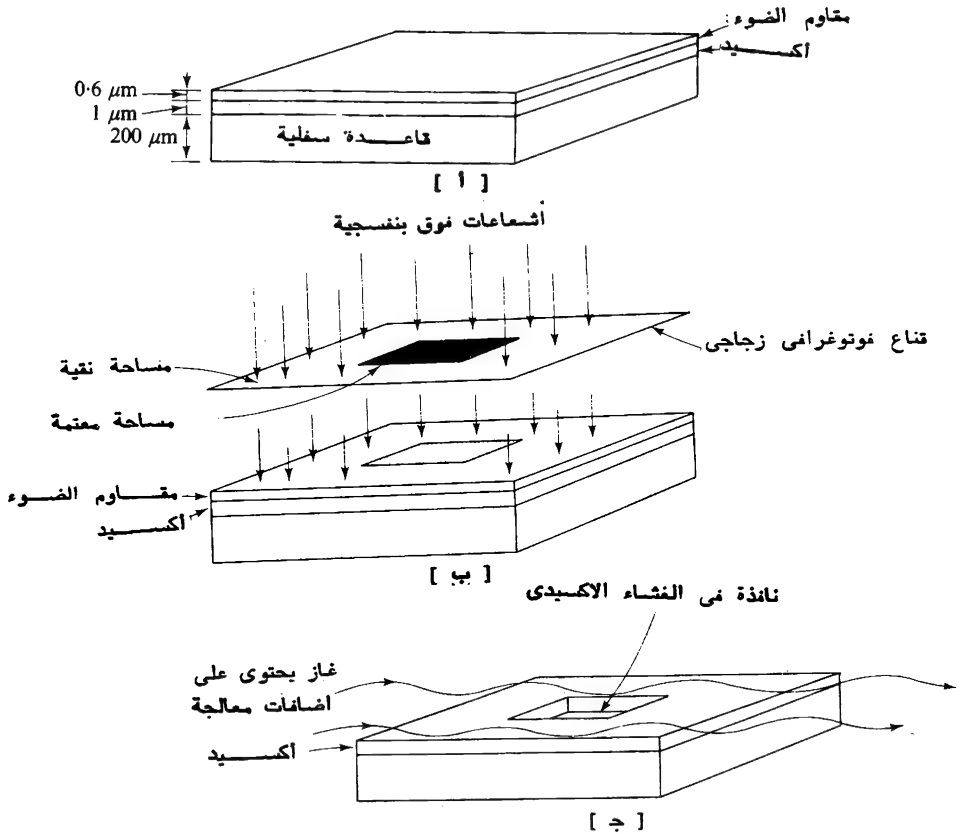
سنأخذ فى الاعتبار الان كيف يمكن تركيب الدائرة المبينة فى شكل ١٢ - ٣ [١] على صورة دائرة تكاملية ، اذ يمكن أن تصبح الشبكة المبينة جزءا من مكبر خطى او جزءا من دائرة مفتاح . وتظهر الدائرة التكاملية بعد تكميلتها ، كما هو موضح فى شكل ١٢ - ٣ [ب] وبمقاس اجمالى للترانزستور يبلغ فى العادة $100 \mu m$ (0.004 in). وستلخص الخطوات المنطوية عليها هذه العملية كما يلى :

طبقة n^+ الدفينة : تستخدم شريحة السليكون او الرقيقة المصنعة فى العملية الابتدائية كقاعدة سفلية ليركب عليها الدائرة كلها . ومن الممكن أن تؤدى المقاومة النوعية ، لمادة القاعدة السفلية، ذات القيمة المرتفعة حقا، الى عدم ملائمة الترانزستور المصنع فوقها للعمل كنبطية قطع وتوصيل ، [مفتاح] وللتغلب على هذه الظاهرة ، تستشر طبقة دفينة من مادة شبه موصلة نوع س + ذات موصلية مرتفعة فى القاعدة السفلية عند نقطة على الشريحة تقع اسفل مكان الترانزستور الاخير مباشرة . والمادة التى من النوع س + هى احدى المواد التى تزيد قيمة موصليتها عن موصلية المادة التقليدية من النوع س . سيوضح فيما يلى عملية الانتشار تحت عنوانين هما الانبات الاكسيدي والقناع الضوئى والانتشار ، وهو يماثل بصفة عامة عملية الانتشار المستخدمة فى تركيب باقى الدائرة وسبب تسمية الطبقة الدفينة بهذا الاسم هو انها تدفن اسفل سطح الدائرة .

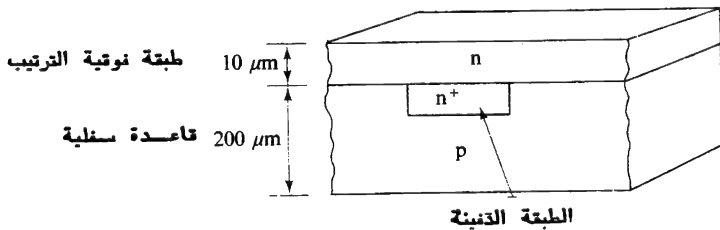
النمو الاكسيدي والقناع الضوئى :

يؤكسد السطح العلوى للطبقة السفلية بأمرار بخار عليها بعد نظافتها وفحصها ، ويبلغ سمك طبقة الاكسيد الناتجة بواسطة هذه العملية حوالى $1 \mu m$ يغطى السطح العلوى من الاكسيد بعدئذ بمادة حساسة للضوء تعرف بمقاوم الضوء ، كما هو موضح فى شكل ١٢ - ٤ [١] . يتم تعريض مقاوم الضوء للأشعة فوق البنفسجية خلال قناع فوتوغرافى [انظر شكل ١٢ - ٤ [ب] ، ثم تتصلد مساحات مقاوم الضوء التى كانت معرضة للضوء . اما المساحات التى كانت غير معرضة للضوء والمغطاة بالمساحات المعتمية من القناع فهى لينة وتذاب بواسطة مادة مذيبة ، مع ترك فتحة فى مقاوم الضوء تتمشى الشريحة فى الحامض لازالة المساحة التى تعرضت للضوء من الغشاء الاكسيدي مع ترك « نافذة » تنفذ الى السطح العلوى من القاعدة السفلية . يزال بعد ذلك الجزء الباقي من مقاوم الضوء بواسطة مادة مذيبة اخرى ، ثم تشطف وتنشف .

الانتشار : تمرر الشريحة فى المرحلة التالية خلال فرن انتشار ، حيث تسخن الى درجة حرارة تبلغ حوالى 1200°C ، ويمرر عليها غازات تحتوى على اضافات معالجة مناسبة [انظر شكل ١٢ - ٤] [ج] تؤدي الاضافات المعالجة فى الغاز الى تحول المساحة المكشوفة من القاعدة السفلية النوع - م الى مادة من النوع س + . وفى النهاية ، تغور الطبقة الدفينة المستنشرة خلال الهافذة فى طبقة الاكسيد بهذه الكيفية الى عمق حوالى $7\text{ }\mu\text{m}$.



شكل ١٢ - ٤ : انتاج الطبقة الدفينة من نوع س +



شكل ١٢ - ٥ : مقطع خلال الشريحة الرقيقة بعد تكوين الطبقة فوقية الترتيب .

ثم تنمش طبقة الاكسيد بعيدا لترك القاعدة السفلية من النوع - م مع الطبقة الدفينة نوع س + على سطحها .

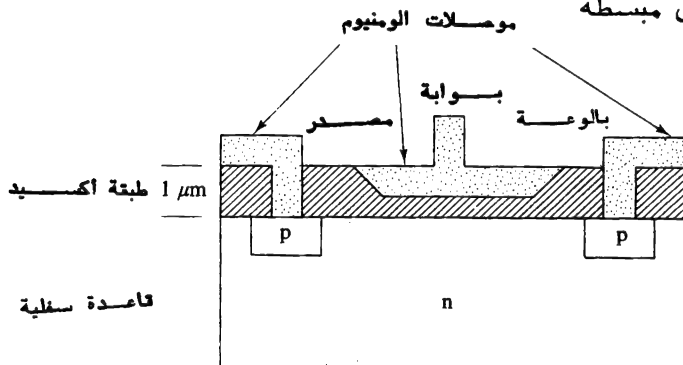
الطبقة فوقية التركيب : بعد ذلك ، تسخن الشريحة الرقيقة مرة أخرى فى فرن وتعرض للغاز الذى يؤدى الى نمو طبقة فوقية الترتيب من النوع س بانتظام فوق كل السطح [انظر شكل ١٢ - ٥] . وان لفي هذه الطبقة فوقية الترتيب بسمك $10 \mu m$ ، قد شكلت الدائرة التكاملية كلها .

مكونات الدائرة : لكى نعمل المكونات داخل الدائرة عن بعضها البعض ، يصبح من اللازم بعدئذ تكوين خنادق عازلة حول المساحات التى تشكل عندها المكونات . وتستنشر الخنادق العازلة من النوع - م داخل الطبقة فوقية الترتيب بواسطة عملية من التنقع والتنمش والاستنشار تماثل العملية التى سبق وصفها [انظر شكل ١٢ - ٣] ب . ويهيئ الخندق وصلة ربط بين سطح الدائرة التكاملية والقاعدة السفلية ، ويعزل كهربائيا المساحات التى يحيط بها .

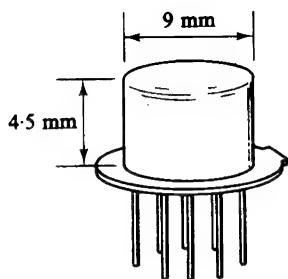
بعدئذ ، تقطع نوافذ فى طبقة الاكسيد لتسمح ببدء استنشار القاعدة من النوع - م وكذلك المقاوم . وبعد ذلك ، تسمح عملية الانتشار التالية ببدء التهيئة لباعث الترانزستور وكذلك المنطقتين س + فى المجمع . وتدعو الحاجة لهاتين حتى [١] تسمح بعمل توصيلة لمنطقة المجمع نفسها [ب] تمكنا المجمع والمقاوم من أن يتصلا مع بعضهما البعض .

انهاء الدائرة التكاملية : يتم تبخير طبقة من الالومنيوم بسمك حوالى $1.5 \mu m$ على السطح الكلى للدائرة ، وتزال المناطق الغير مطلوبة للتوصيلات الكهربائية بعملية النمش . وتنفذ التوصيلات بين الالومنيوم المستجد والاطراف الخارجية للدائرة المتكاملة .

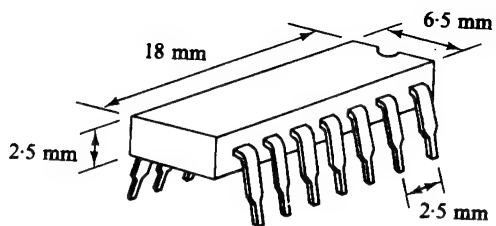
ومن الجدير بالذكر ، أن ما سبق هو وصف مبسط للعمليات المتضمنة ، وكما سيقف معنا القارئ فان رسم المقطع فى شكل ١٢ - ٣ [ب] هو صورة أخرى مبسطة



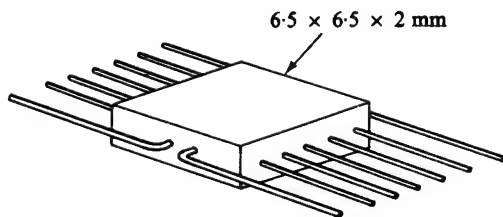
شكل ١٢ - ٦ ترانزستور التأثير الجالى من اشباه الموصلات الاكسي معدنية (MOSFET) ذو القناة - الموجبة .



[ب]

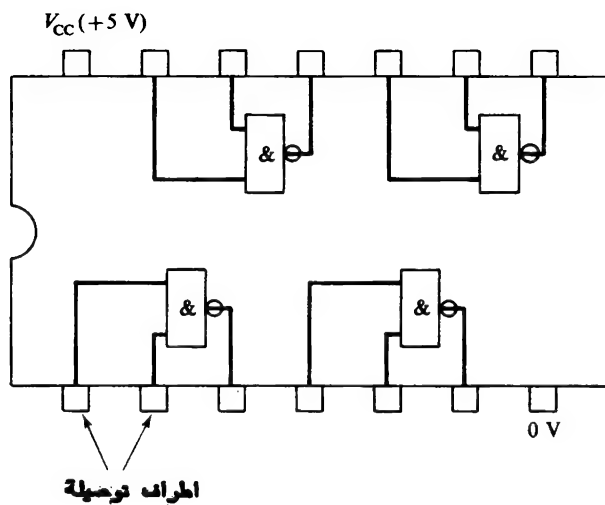


[ا]

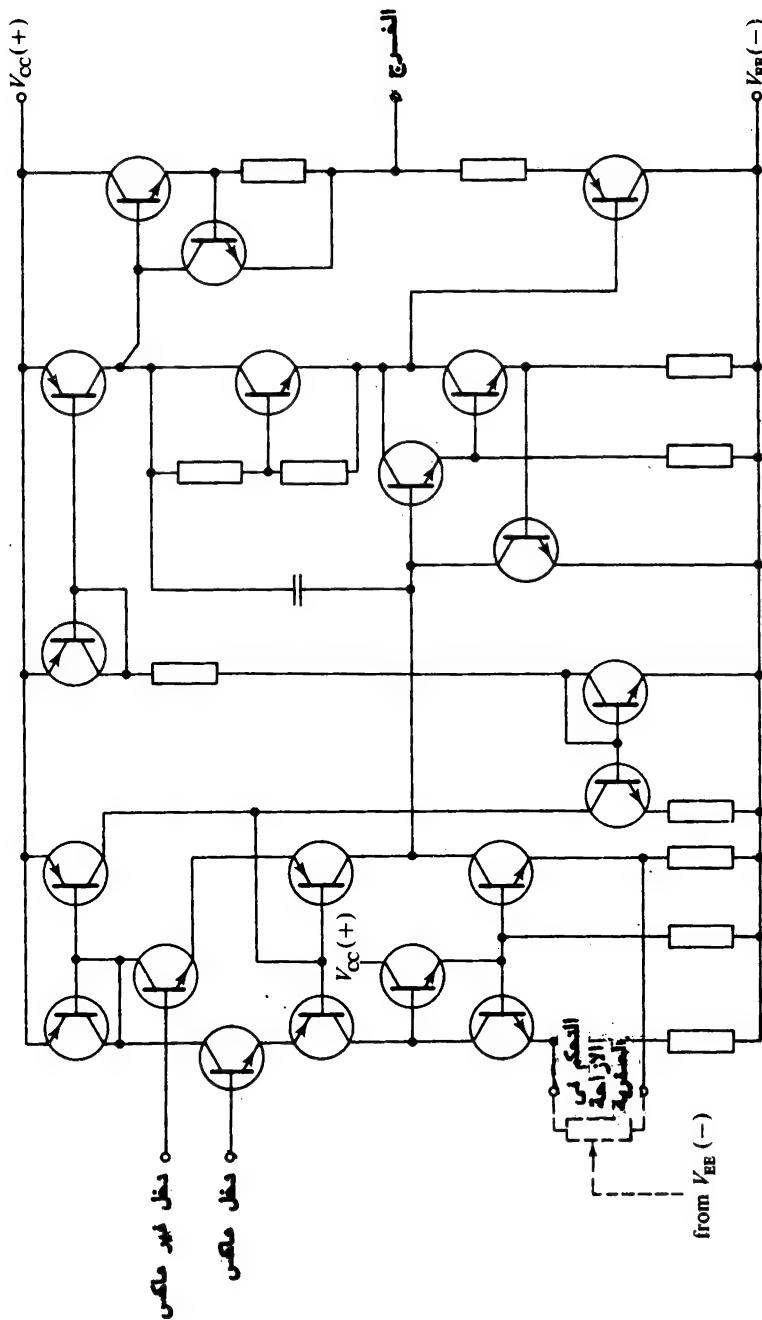


[ج]

شكل ١٢ - ٧ كبسولات دوائر تكاملية



شكل ١٢ - ٨ كبسولة دائرة NAND التكاملية بها أربعة وحدات لكل منها دخلين .



شكل ١٢ - ٩ دائرة المبر التشغيلي طراز 741

وتتضمن عملية تصنيع الدائرة المتكاملة ثنائية القطب في مجموعها حوالي 80 الى 100 عملية منفصلة ، ويحتاج بعضها الى بضعة ساعات لتكاملها ويحتاج البعض الاخر الى بضعة اسابيع .

١٢-٤ تصنيع الدوائر التكاملية من أشباه

الموصلات الاكسى معدنية MOS

يوضح شكل ١٢ - ٦ مقطعا فى ترانزستور التأثير الجالى من اشباه الموصلات الاكسى معدنية (MOSFET) ذات القناة الموجية والمصنع فى شكل دائرة تكاملية ، حيث يظهر السمات الاساسية للمنطقية عند المقارنة مع الدائرة التكاملية الثنائية القطب المبينة فى شكل ١٢ - ٣ ، يصبح واضحا ان منطقية اشباه الموصلات الاكسى معدنية (MOS) أسهل فى الانشاء وتحتاج علاوة على ذلك الى مساحة مسطح اقل على الشريحة الرقيقة لشبه الموصل بالنسبة للترانزستور ثنائى القطب . وبالتالى ، يصبح ممكنا باستعمال عناصر اشباه الموصلات الاكسى معدنية (MOS) أما الى انتاج دوائر أكثر تركيبيًا على الشريحة الرقيقة المعطاة ، او الى انتاج نفس الدائرة بتكاليف اقل عما هو الحال مع العناصر ثنائية القطب . وهكذا ، تنفذ الدوائر المنطقية غالبا فى معظم الآلات الحاسبة الالكترونية بواسطة نبات من اشباه الموصلات الاكسى معدنية (MOS) فى شكل دوائر تكاملية .

١٢-٥ تجميع الدائرة المتكاملة

يوضح شكل [١٢ - ٧] ثلاثة من الاشكال شيوعا لتجميع [او تغليف] الدوائر التكاملية . هذا وان اكثر الاشكال شيوعا هى المجموعة بكبسولة البلاستيك ثنائية الخطوط ذات الاربعة عشر طرفا (DIP) والمبينة فى الشكل ١٢ - ٧ [١] .

وللمجموعة ثنائية الخطوط ذات الاربعة عشر طرفا ، سبعة اطراف توصيل على كل جانب على ان يمتد كل زوج مقابل من كلا الجانبين على استقامة واحدة ، وان تكون المسافة بين كل طرفين (0.1 in) 2.5 mm لكي تسمح بتركيب الدائرة التكاملية مباشرة فى اللوحات القياسية للدائرة المطبوعة ويحتوى نموذج العلبة الصغيرة [علبة معدنية] فى شكل [١٢ - ٧ [ب]] الدائرة المتكاملة فى علبة معدنية محكمة السد . وغالبا ما يكون نموذج المجموعة المسطحة [شكل ١١ - ٧ [ج]] من تركيب خزفى ويحكم اغلاقه بالمثل .

هذا وتتباين الى حد بعيد درجة التعقيد للدائرة المحتواة فى مجموعة الدائرة المتكاملة . وربما تكون اكثر الدوائر المتكاملة المنطقية استعمالا فى كل مكان هى 7400 N [او (FJH 131) بأربعة وحدات ولكل وحده طرفى دخل وبوابة ترانزستور - ترانزستور - منطقي TTL NAND وتتواجد فى شكل مجموعة ثنائية الخطوط بأربعة عشر طرفا كما هو موضح فى شكل ١٢ - ٨ .

ويوضح شكل ١٢ - ٩ دائرة المكبر التشفيل 741 الذى يعتبر اكثر نماذج الدوائر التكاملية الخطية شيوعا . ومع ان الدائرة معقدة جدا ، الا

أن الحاجة تدعو لعمل سبعة توصيلات خارجية للمكبر فقط . وستناقش تطبيقات هذا النوع من المكبرات فى الفصل الرابع عشر . نحتاج الى مفرق الازاحة الصفرية ، الذى يوصل خارجيا بالدائرة فى الحالات التى ينحرف فيها خرج الجهد فيلزم ارجاعه الى الصفر باليد .

١٢ - ٦ دوائر المقياس المتوسط المتكاملة والمقياس المكبر للدائرة التكاملية

تستخدم عادة عبارة دائرة المقياس المتوسط المتكاملة (MSI) وعبارة المقياس المكبر للدائرة التكاملية (LSI) عند وصف انواع معينة من الدوائر المنطقية المعقدة . وتشير هذه العبارات الى عدد البوابات المنطقية الكاملة فى دائرة تكاملية واحدة بالمجموعة ولو ان هذا التعريف ليس دقيقا للغاية ، انما يمكن توضيحه كالآتى :

[أ] تحتوى دوائر المقياس المتوسط المتكاملة (MSI) ما بين حوالى 10 الى 100 بوابة .

[ب] تحتوى دوائر المقياس المكبر المتكاملة (LSI) على اكثر من حوالى 100 بوابة

وتستخدم الدوائر المتكاملة فى الحسابات الالكترونية شريحتي المقياس المكبر للدائرة التكاملية .

الفصل الثالث عشر

مكبرات التغذية المرتدة والمذبذبات

١٣ - ١ التغذية المرتدة السالبة والموجبة

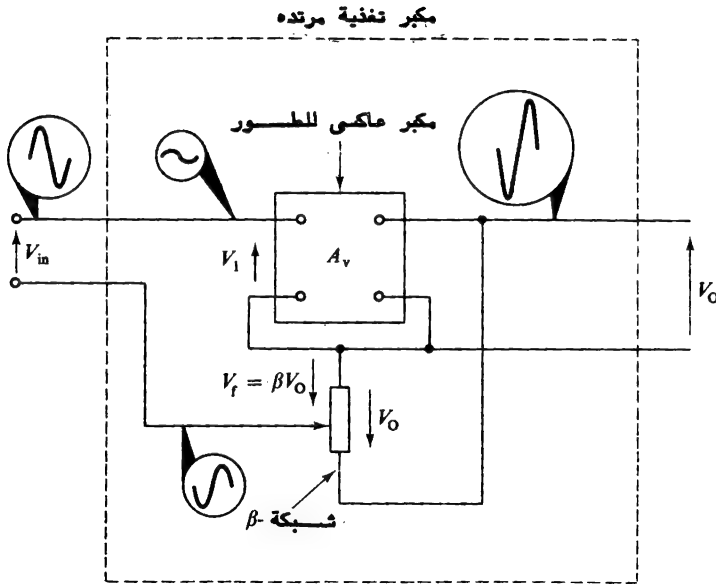
مكبر التغذية المرتدة هو المكبر الذى يرد الى دخله جزء من اشارة الخرج أو كلها فى بعض الاحيان وتضم هذه الاشارة الى اشارة الدخل لتعطى اشارة مركبة ، لتسلط بعدئذ الى المكبر . والنتيجة النهائية لتسليط هذه التغذية المرتدة هو تغير اداء ، حيث يعتمد نوع وكمية التغير على عدة عوامل تشمل كيفية التحصل على اشارة التغذية المرتدة ، والطريقة التى ترد بها هذ الاشارة ، والنهج المستخدم لدفع الاشارة الى المكبر .

وبصفة اجمالية يمكن تقسيم دوائر التغذية المرتدة الى نوعين ، هما مكبرات التغذية المرتدة السالبة ومكبرات التغذية الموجبة . ومع مكبرات التغذية المرتدة السالبة ، يضاد طور اشارة التغذية المرتدة [أى أن لها قطبية مضادة] طور اشارة الدخل ولذلك تنقص اشارة الدخل الخالصة المسطرة على المكبر . وبصفة عامة ، يصبح تأثير التغذية السالبة المرتدة اقلالا لكسب الجهد الظاهرى للمكبر ويعرف هذا باسم **التغذية الخلفية المضعفة** ، حيث لهذا النوع من التغذية المرتدة تأثيرات مفيدة كثيرة ، سنتعرض لكثير منها خلال هذا الفصل . أما مع مكبرات التغذية المرتدة الموجبة ، فان طور اشارة التغذية المرتدة يتفق مع طور اشارة الدخل ولذلك تزيد اشارة الدخل الخالصة المسطرة على المكبر . وينتج عن ذلك ، أن يزداد كسب الجهد الظاهرى للمكبر ، ويعرف هذا باسم **التغذية الخلفية المقوية** . وآثار التغذية المرتدة الموجبة هي بصفة عامة ، عكس تأثيرات التغذية السالبة المرتدة ولها ، على وجه العموم ، تأثير غير موازن [غير مستقر] على الدائرة . وتستخدم التغذية المرتدة الموجبة فى صور متعددة للمذبذبات سيوضح بعض منها فى هذا الفصل .

١٣ - ٢ أساس عمل مكبرات التغذية المرتدة السالبة

يوضح شكل [١٣ - ١] فكرة عمل اشكال كثيرة لمكبرات التغذية المرتدة السالبة . نفى هذه الدائرة ، توصل اشارة التغذية المرتدة V_f على التوالى مع اشارة الدخل V_{in} ، وكنتيجه لذلك ، يعرف هذا النوع من الدوائر بمكبر جهد التغذية المرتدة السالبة على التوالى .

ويتكون مكبر التغذية المرتدة ، وهو المحاط بالمستطيل ذي الخطوط المتقطعة ، شكل ١٣ - ١ ، من مكبر عاكس للطور مع شبكة تغذية مرتدة .



شكل ١٣ - ١ مكبر جهد التغذية المرتدة السالبة على التوالي .

تسمى شبكة B . ففي الحالة المبينة ، تعتبر الشبكة B ببساطة مجزئ الجهد . وللتمييز بين المكبر العاكسي للطور A_v ، ومكبر التغذية المرتدة بأكمله ، يرجع على وجه التحديد أما الى المكبر [ونعني المكبر العاكسي للطور الذي هو مجرد جزء من الدائرة الكاملة] او الى مكبر التغذية المرتدة [ونعني به الدائرة الكاملة في شكل ١٣ - ١ . وتوضح العلاقات بين أطوار الاشكال الموجبة عند نقط مختلفة في الدائرة بواسطة الرسوم التخطيطية للاشكال الموجية في الشكل . وبما ان المكبر عاكسي للطور ، لذا يتضاد طور V_f مع طور V_{in} وتكون قيمة الإشارة V_1 المسطرة بالفعل على المكبر A ذات قيمة صغيرة ويتفق طورها مع طور إشارة الدخل V_{in} .

ولنأخذ في الاعتبار الان عمل هذه الدائرة . بغرض ان كسب الجهد المكبر العاكسي للطور هو 100- [الإشارة السالبة تملأ عكسا للطور] وان قيمة الجهد المسلط على طرفي المكبر تساوي 1 mV . ففي هذه الحالة ، تصبح قيمة جهد الخرج V_o عبارة عن $-1\text{ V} = -1000 \times 0.001$. مرة أخرى نقرر ان وجود الإشارة السالبة انما يملأ ان طور جهد الخرج يعاكس طور الجهد V_1 . وبغرض ان شبكة - تغذى خلفيا 0.9 في المائة ($\beta = 0.009$) من إشارة الخرج الى الدخل .

$$V_f = \beta V_o = 0.009 \times (-1) = -0.009\text{ V or } -9\text{ mV. بمعنى أن}$$

$$V_1 = V_{in} + V_f \text{ ، نرى أن [١٣ - ١]}$$

$$V_{in} = V_1 - V_f = 1 - (-9)\text{ mV} = 10\text{ mV} \text{ أو}$$

أى أن ، قيمة الجهد المسلط V_{in} على طرفى مكبر التغذية المرتدة اللازمة لإعطاء خرج قيمته 1000 mV تبلغ 10 mV وهكذا يصبح كسب الجهد الكلى A_{vf} لمكبر التغذية المرتدة عبارة عن

$$A_{vf} = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{-1000}{10} = -100$$

وفى الحالة السابقة ،يصبح كسب المكبر A ، يعادل -1000 ، بينما قيمة كسب الجهد لمكبر التغذية الخلفية هى مجرد -100 . وهكذا ، يصبح احد تأثيرات هذا الأسلوب من التغذية المرتدة هو انقاص قيمة كسب الجهد المكبر التغذية المرتدة الى قيمة أقل من كسب المكبر المستخدم فى الدائرة . ويعتبر هذا ضمن الجوانب المعيبة للتغذية المرتدة السالبة ، مع العلم أن لهذا النوع مميزات أكثر ، كما سنرى فيما بعد .

ويمكن حساب قيمة كسب الجهد A_{vf} لمكبر التغذية المرتدة باستخدام المعادلة الآتية :

$$A_{vf} = \frac{A_v}{1 - A_v \beta}$$

حيث A_v هو كسب الجهد للمكبر A و β هى جزء من إشارة الخرج المرتدة خلفيا الى الدخل . وبالتعويض بالأرقام السابقة

$$A_{vf} = \frac{-1000}{1 - (-1000 \times 0.009)} = \frac{-1000}{1 + 9} = -100$$

ولنفترض أن قيمة الكسب A_v للمكبر قد هبطت الى ما قيمته 800 ، نتيجة لبعض العوامل مثل قدم المكونات وتغيرات جهد المصدر و ... الخ . فإذا استخدم المكبر بدون تغذية مرتدة ، فإنه ينتج عن الهبوط فى الكسب انخفاضاً فى جهد الخرج يصل الى 20% .

وإذا استخدم المكبر بنفس كمية التغذية المرتدة فى الحالة السابقة ($\beta = 0.009$) فإن كسب الجهد الإجمالى لمكبر التغذية المرتدة ينقص الى

$$A_{vf} = \frac{-800}{1 - (-800 \times 0.009)} = \frac{-800}{1 + 7.2} = -97.56$$

أى أن كسب الجهد الإجمالى للمكبر يهبط بمقدار 2.4% فقط عندما يهبط كسب المكبر الداخلى بمقدار 20% . أى أن هذا النوع من التغذية المرتدة يؤدي الى تحسين استقرار كسب الجهد لمكبر التغذية المرتدة بالمقارنة مع كسب الجهد المكبر المستخدم فى الدائرة . والسؤال الآن يدور حول كيفية تقدير هذا التحسن الملحوظ فى الاداء . فبكل بساطة يقوم مكبر التغذية المرتدة بضبط مستويات الجهد فى الداخل بطريقة تلقائية ليعوض الانخفاض فى كسب المكبر . ولناخذ فى الاعتبار كيف يحدث هذا فى الحالة السابقة . بفرض أن قيمة الإشارة V_{in} قد ثبتت عند 10 mV ، فإن الحسابات السابقة توضح أن قيمة جهد الخرج الجديد ستكون 975.6 mV ، مما يعطى

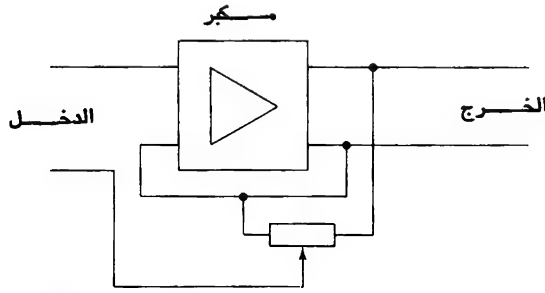
قيمة جديدة لجهد التغذية المرتدة تبلغ $0.009 \times (-975.6) \text{ mV} = -8.78 \text{ mV}$ ومن الاشكال السابقة ، نرى أن قيمة V_1 المسطرة الان على المكبر هي

$$V_1 = V_{in} + V_f = 10 + (-8.78) = 1.22 \text{ mV}$$

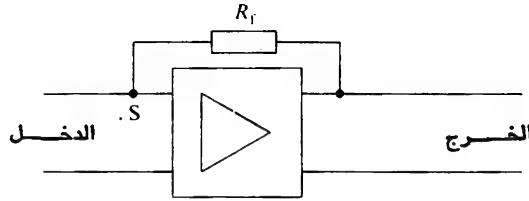
وعند هذه النقطة نرى أن قيمة V_1 قد زادت من القيمة الاصلية وهي 1 mV [عندما كان كسب المكبر يعادل $1000 -$] الى قيمة تعادل 1.22 mV ، عندما هبط الكسب الى $800 -$. وهكذا تصبح القيمة الجديدة لخرج الجهد من المكبر

$$-800 \times 1.22 \text{ mV} = -976 \text{ mV}$$

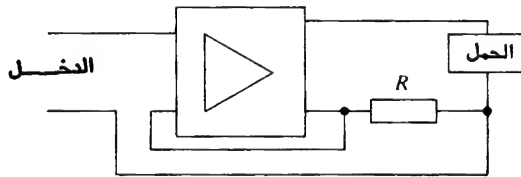
وتوضح الحسابات السابقة كيف يحافظ مثل هذا النوع من التغذية المرتدة .



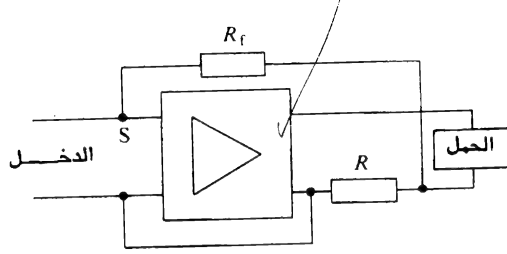
[أ] التغذية المرتدة لفرق الجهد على التوالي



[ب] التغذية المرتدة لفرق الجهد على التوازي



[ج] تغذية التيار المرتدة على التوازي



[د] تغذية التيار المرتدة على التوازي

شكل ١٢ - ٢ الاشكال التخطيطية للانواع الاساسية من مكبرات التغذية المرتدة

على ثبات كسب مكبر التغذية المرتدة بالتقريب ، بالرغم من امكانية تغير كسب المكبر المستخدم فى الدائرة عبر مدى واسع من القيم .

١٣ - ٣ الانواع الاساسية لمكبر التغذية المرتدة

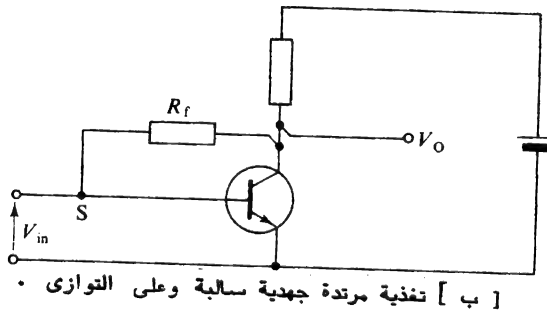
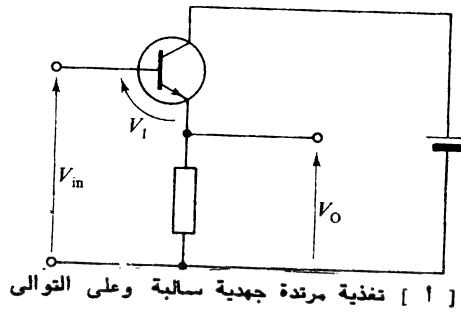
كما اثرننا سابقا ، يمكن تسليط التغذية المرتدة ، بعدة طرق ، وللمساعدة على تفهم اساسيات هذا المضمون ، يوضح شكل ١٣ - ٢ رسوم تخطيطية لمراحل مكبرات التغذية المرتدة الاساسية .

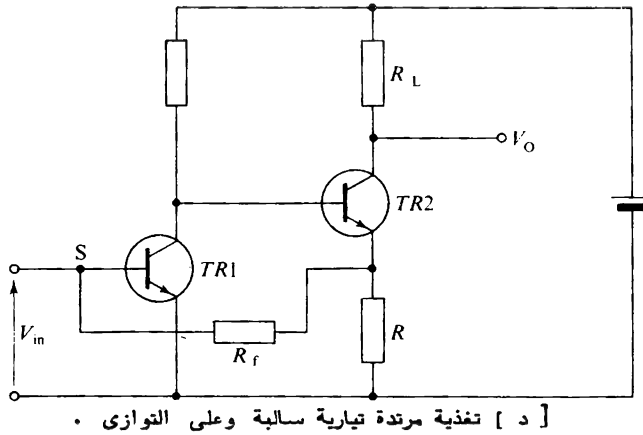
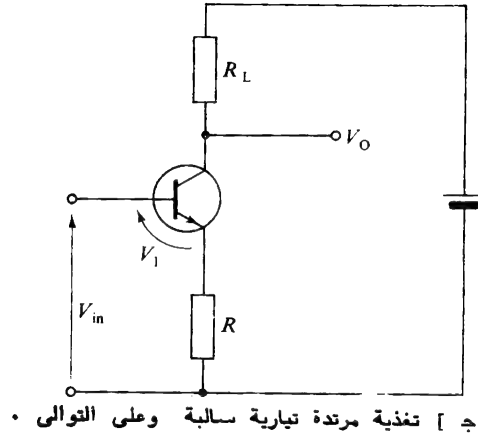
يقال ان تغذية مرتدة على التوالى قد سلطت ، اذا دفعت اشارة ارتداد التغذية عند المدخل للاتصال على التوالى مع اشارة الدخل . ويوضح الرسمان التخطيطيان فى شكل ١٣ - ٢ [ا] و [ب] أمثلة لمثل هذا النوع من الدوائر . وفى التغذية المرتدة على التوازي ، تحول اشارة التغذية الخلفية الى تيار وذلك بتسليطها على مقاومة ارتداد التغذية المبينة بالمقاومة R_f فى الرسوم التخطيطية [ب] و [د] فى شكل ١٣ - ٢ . ويضاف التيار المسار فى المقاومة R_f عند الوصلة S على التوازي مع تيار مصدر اشارة الدخل .

ان الطريقة التى تشق بها اشارة التغذية المرتدة لهما بالمثل ذات مغزى . كما فى الدائرتين المبينتين فى شكل [ا] و [ب] . يقال عندئذ ان تغذية مرتدة جهدية قد سلطت على الدائرة ، وعندما تكون اشارة التغذية الخلفية متناسبة مع تيار الخرج ، يقال ان تغذية مرتدة تيارية قد سلطت على الدائرة . والطريقة الشائعة للحصول على اشارة متناسبة مع تيار الخرج هى عن طريق توصيل مقاومة على التوالى مع الحمل . حيث وضحت مقاومة R من هذا النوع فى الرسمان التخطيطيان [ا] و [د] فى شكل ١٣ - ٢ . ويتناسب الجهد الناتج بين طرفى هذه المقاومة مع تيار الحمل ، ويستخدم هذا الجهد كاشارة تغذية مرتدة . وقد تدفع هذه الاشارة الاخيرة لتوصيلها اما على التوالى مع اشارة الدخل [شكل ١٣ - ٢ ج] ، او على التوازي مع اشارة الدخل عن طريق المقاومة R_f [شكل ١٣ - ٢ د] .

ويوضح شكل ١٣ - ٣ أمثلة عملية عن كيفية تسليط التغذية المرتدة على دوائر الترانزستور . حيث تتناظر الرسوم التخطيطية في شكل ١٣ - ٢ من [١] الى [د] مع الدوائر المبينة في شكل ١٣ - ٣ من [أ] الى [د] على الترتيب . وللبساطة والوضوح حذفت ترتيبات انحياز الدوائر في شكل ١٣ - ٣ . ويبدأ الجهد V_O في الظهور بين طرفى المقاومة الموصلة بين طرف الباعث والارض في الدائرة الموضحة في شكل ١٣ - ٣ [أ] . ويحدث كل هذا الجهد المعاكس لاشارة الدخل ليغذى دائرة الدخل على التوالي معها بحيث يسלט 100 في المائة تغذية مرتدة جهدية سالبة وعلى التوالي . وتعرف هذه الدائرة باسم تابعة الباعث ، وستوضح بالتفصيل في هذا الفصل . أما في الدائرة المبينة في الشكل ١٣ - ٣ [ب] ، فان جهد الخرج يسלט على احدى نهايتى مقاومة ارتداد التغذية R_f ويضاف التيار المار خلال هذه المقاومة الى التيار المسحوب من مصدر الخرج V_{in} عند الوصلة S . وتتحدد العلاقة بين طورى الدخل V_{in} والخرج V_O في هذه الدائرة بحيث يسלט على المكبر تغذية مرتدة جهدية سالبة وعلى التوازي .

مقاومة الحمل R_L توصل على التوازي مع خط الجمع . وللمقاومة R عند طرف الباعث قيمة ثقل كثيرا من مقاومة الحمل R_L ، وتناسب قيمة الجهد بين طرفى R مع التيار المنساب في مقاومة الحمل R_L . وتتحدد علاقة الطور بين جهود الدائرة بحيث ينقص فرق الجهد بين طرفى R من قيمة V لى يصبح اقل من قيمة V_{in} .





شكل ١٣ - ٣ أمثلة لدوائر مكبر التغذية المرتدة

وحيث أن الجهد بين طرفى المقاومة R موصل بالفعل على التوالى مع إشارة الدخل ، فإن تغذية مرتدة تيارية سالبة وعلى التوالى تصبح سلطة عليها . ومن تحليل هذه الدائرة يتبين أن قيمة كسب الجهد تساوى تقريباً R_L/R ، فإذا كانت $R_L = 6.8 \text{ k}\Omega$ و $R = 470 \Omega$ فإن قيمة كسب الجهد للدائرة المبينة فى شكل ١٣ - ٣ [ج] تصبح حوالى 14.5 .

ان دائرة الشكل ١٣ - ٣ [د] ، والتي سيط عليها تغذية مرتدة تيارية سالبة وعلى التوالى لاكثر تعقيداً من الدوائر الأخرى لأنها تتضمن مرحلتين للتكبير وفى هذه الدائرة ، توصل مقاومة الحمل R_L فى دائرة الجمع للترانزستور $TR2$ ويمر تيار فى المقاومة R الموصلة فى دائرة الباعث للترانزستور $TR2$ تساوى قيمته بالتقريب تيار الحمل . ويسلط الجهد الناشئ بين طرفى هذه المقاومة لأحدى نهايتى مقاومة التغذية المرتدة R_f

ويضاف التيار المناسب فى المقاومة R_f على التوازي مع التيار الناتج من إشارة مصدر الدخل V_{in} عند الوصلة S . مرة أخرى تتحدد علاقات انطور فى الدائرة بحيث تسلط تغذية مرتدة سالبة وتصبح القيمة التقريبية لكسب جهد للدائرة المبينة فى شكل ١٣ - ٣ [د] R_f/R فإذا كانت $R = 470 \Omega$ و $R_f = 4.7 k\Omega$ ، فإن قيمة كسب الجهد الكلى تبلغ 10 وتستخدم صور من الدائرة المبينة فى شكل ١٣ - ٣ [د] بكثرة مع معدات التردد الاسمعى ، باستثناء أن شبكة معقدة من مقاومات ومكثفات تحل محل R_f . ويؤدى هذا الى امكانية تحقيق الشكل المطلوب لخواص الاستجابة الترددية للمكبر .

١٣ - ٤ سمات مكبرات التغذية المرتدة السالبة

تكثر وتتنوع سمات مكبرات التغذية المرتدة السالبة وسيعطى هنا ملخص مختصر للسمات الاساسية .

تؤثر التغذية المرتدة السالبة على متغيرات كثيرة من بينها كسب الجهد ومعاوقة الدخل ومعاوقة الخرج بالكيفية الموضحة ادناه . وتنسب التغيرات المجدولة بالنسبة الى القيمة المصاحبة للمكبر قبل تسليط التغذية المرتدة .

نوع التغذية المرتدة	اثرها على الكسب	اثرها على مقاومية الدخل	اثرها على مقاومية الخرج
تغذية مرتدة سالبة	تقل		
تغذية مرتدة سالبة وعلى التوازي		تقل	
تغذية مرتدة سالبة وعلى التوالى		تزداد	
تغذية مرتدة جهدية سالبة			تقل
تغذية مرتدة تيارية سالبة			تزداد

وفى بعض التطبيقات ، قد يستطيع مصدر إشارة أن يهيب تيارا فى حدود جزء من الميكروأمبير . وفى هذه الحالة ، يتحتم أن تكون المعاوقة الداخلية للمكبر ، الذى سيوصل معه مصدر الإشارة ، كبيرة حتى يسحب تيارا صغيرا جدا . ويتضح بجلاء من الجدول السابق ، أنه يجب استخدام مكبر التغذية المرتدة السالبة على التوالى ، حيث أن هذا يؤدى الى زيادة معاوقة دخل مكبر التغذية المرتدة عن معاوقة المكبر نفسه . وفى حالات أخرى ، قد تكون معاوقة الحمل الموصل بخرج المكبر .

ذات قيمة منخفضة وتسحب تيارا كبيرا نسبيا من المكبر . وفى هذه الحالة ، يصبح استخدام مكبر بتغذية مرتدة جهدية سالبة أمرا ضروريا ،

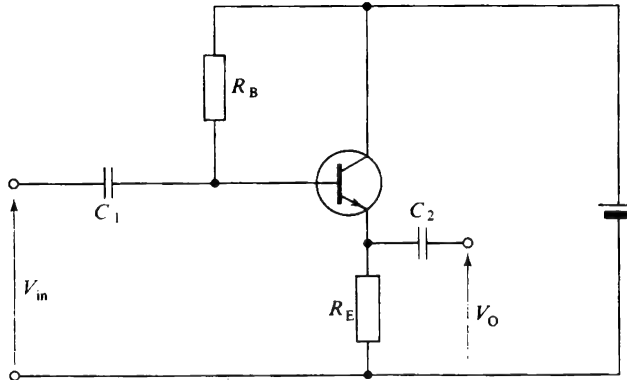
لان هذا يؤدي الى الاقلال من قيمة معاوقة الخرج لمكبر التغذية المرتدة عن قيمة معاوقة الخرج للمكبر نفسه . ومن ثم فان تسليط تغذية مرتدة جهدية سالبة وعلى التوالى مع مكبر التغذية المرتدة يعطى خواصا تتمثل فى معاوقة الدخل المرتفعة ومعاوقة الخرج المنخفضة بالنسبة لمعاوقة المكبر الاساسى المستخدم فى الدائرة . ويوضح شكل ١٣ - ٣ [١] مكبرا من هذا النوع .

وتحسن التغذية المرتدة السالبة ايضا استقرار الكسب للمكبر عند حدوث تغيرات فى الدائرة ، وقد تم توضيح ذلك فى الجزء ١٣ - ٢ ، كما انها تؤدي ايضا الى زيادة عرض النطاق الترددى لمكبر التغذية المرتدة عن عرض النطاق الترددى للمكبر الاساسى . ومن الممكن اثبات ان حاصل ضرب الكسب فى عرض النطاق الترددى لمكبر التغذية المرتدة هو مقدار ثابت ، بغض النظر عن كمية التغذية المرتدة المسلطة [انظر ايضا الفصل الرابع عشر] . فاذا نتج عن كمية التغذية المرتدة المسلطة خفض فى الكسب العددي بمعامل عشرة ، فان عرض النطاق الترددى يزداد بمعدل عشر المرات ايضا .

وتستطيع التغذية المرتدة السالبة ايضا ان تقلل من كمية تشوه الاشارة الخارج بشرط ان درجة تشوه الاشارة لم تكن على درجة من الانحراف قبل حدوث التغذية المرتدة .

١٣ - ٥ مكبرات تابع الباعث وتابع المصدر

يوضح شكل ١٣ - ٤ صورة من دائرة للتابع الباعث المستخدمة فى التطبيق العملى . وسلاحظ القارئ التشابه بين دائرة تابع الباعث ومكبر التغذية المرتدة الجهدية السالبة وعلى التوالى والتي سبق عرضها فى شكل ١٣ - ٣ [ج] ، حيث يتمثل الفرق بين هاتين الدائرتين فيما استجد من



شكل ١٣ - ٤ دائرة اساسية لتابع الباعث

مكونات اضافية R_B ، C_1 و C_2 . وسيعطى السبب لاستخدام هذه المكونات فيما يلى :

المقاومة R_B هي مقاومة انحياز القاعدة وتمد الترانزستور بتيار السكون للقاعدة ، وبالتالي ، تحدد هذه القيمة تيار السكون الباعث . وتحدد أقصى قيمة لتأرجح الخرج بواسطة فرق الجهد عبر طرفي المقاومة R_E ، حيث أن قيمة هذا الجهد لن تستطيع الهبوط لأقل من الصفر [عندما يقل تيار القاعدة الى الصفر بواسطة إشارة الدخل] وتستطيع أن تقترب قيمتها من جهد المصدر [عندما يدفع الترانزستور الى حالة التشبع بواسطة إشارة الدخل] . فإذا كان لتأرجح جهد الخرج أن يتخذ قيمة كبيرة ، فإنه يتحتم أن تكون قيمة جهد السكون عند الباعث مساوية لنصف قيمة جهد المصدر بالتقريب . فإذا كان جهد المصدر 9V وإذا كان تيار السكون للباعث 1 mA فإن قيمة مقاومة الباعث يمكن أن تبلغ قيمتها 4-7 k Ω . ولسوف تقع القيمة المناسبة لقيمة المقاومة R_B في المدى من 150 k Ω الى 390 k Ω طبقا لقيمة كسب التيار للترانزستور .

ووظيفة المكثف المانع C_1 هي منع التيار المستمر لدائرة الانحياز من الانسياب في دائرة دخل مصدر الإشارة . وحيث أن تغذية سالبة مرتدة وعلى التوازي سلطت في هذه الحالة ، فإن معاوقة الدخل للمكبر تصبح مرتفعة [تساوى في العادة قيمة المقاومة R_B] ، بحيث يمكن أن تكون سعة المكثف C_1 منخفضة ، وأن قيمة لها في في حدود 0.5 μF تعتبر ملائمة بالنسبة لتطبيقات كثيرة في مجال التردد السمعي .

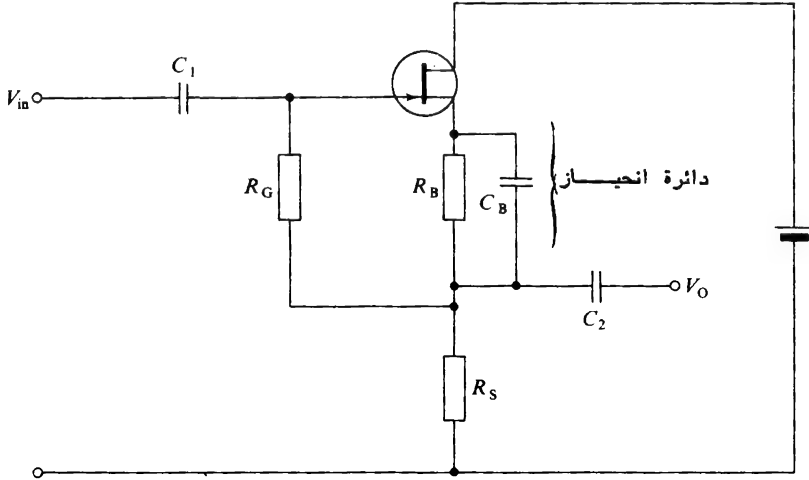
وتؤخذ المركبة المترددة لجهد الخرج V_O من باعث الترانزستور عن طريق المكثف العائلي للتيار المستمر C_2 . ومفاعلة هذا المكثف منخفضة عند تردد التشغيل بحيث يصبح الهبوط في جهد التيار المتردد بين طرفيه صغيرا جدا . ومن الممكن استخدام قيمة للمكثف C_2 تعادل 50 μF لاحتمالات كثيرة في مجال التردد السمعي .

ولنأخذ في الاعتبار عمل هذه الدائرة ، عند تسليط جهد V_{in} عند الدخل ، يزيد تيار القاعدة ومعه يزداد تيار الباعث أيضا ، كلما ازدادت قيمة V_{in} وبناء على ذلك ، تزداد قيمة الجهد بين طرفي المقاومة R_E أيضا . وبالمثل عندما تتناقص قيمة V_{in} ، تتناقص أيضا قيمة V_O . مما ذكر سابقا ، يتضح أن طور إشارة الخرج المتردد يتفق مع طور إشارة الدخل . وعلاوة على ذلك ، حيث أن فرق الجهد المتردد بين القاعدة والباعث له قيمة صغيرة نسبيا ، فإن قيمة جهد الخرج المتردد تساوى تقريبا قيمة إشارة الدخل V_{in} أي أن قيمة كسب الجهد تساوى واحد بالتقريب ، وبالنظر الى أن قيمة جهد الدخل تساوى بالتقريب قيمة جهد الخرج ، يقال أن جهد باعث الترانزستور يتبع ، التغيرات في جهد قاعدة الترانزستور . وهكذا تسمى هذه الدائرة تابع الباعث . ويطلق أسم توابع الجهد في بعض الأحيان على مجموعة الدوائر ذات الخواص السابقة .

وبالإضافة ، حيث أن تغذية مرتدة جهدية سالبة وعلى التوالي مسلطة ، فإن معاوقة الدخل لدائرة تابع الباعث تزيد كثيرا عن معاوقة الترانزستور وتصبح معاوقة الخرج لها صغيرة جدا في العادة بضعة وحدات من الاوم .

وهذه السمات السابقة تجعل من تابع الباعث عنصرا مفيدا للعمل كمكبر صاد كسبه الوحده ، ويوصف اسمه بالمكبر الصاد لانه يفرض حملا كهربائيا صغيرا جدا على مصدر اشارة الدخل ، ومع ذلك فان معاوقة خرجة منخفضة بالدرجة التي تكفى لتمكينه من دفع التيار خلال معاوقة منخفضة نسبيا للحمل، الذى يمكن ان يكون خطأ للإرسال مثلا .

ويوضح شكل ١٣ - ٥ صورة اخرى لتابع الجهد الذى يسمى تابع المصدر، ومن السمات الهامة لهذه الدائرة أن معاوقة دخلها تزيد حتى عن معاوقة تابع الباعث ، ويمكن أن نحصل بسهولة على معاوقة للدخل فى حدود بضعة وحدات من الميجا اوم .



شكل ١٣ - ٥ صورة من دائرة تابع المصدر فى التطبيق العملى .

وقد اتاحت هذه السمعة من حقيقة أن ترانزستور التأثير الجالى (FET) يستخدم كنبطة فعالة فى المكبر .

ويشتق جهد الانحياز لترانزستور التأثير الجالى (FET) من دائرة الانحياز الذاتى المكونة من المقاومة R_B المتصلة على التوازي مع C_B والمتصلتين على التوالي مع الكترود المصدر . ويظهر جهد الانحياز بين طرفى المقاومة R_B نتيجة لانسياب تيار السكون لترانزستور التأثير الجالى (FET) خلالها . ويسلط هذا الجهد على بوابة ترانزستور التأثير الجالى (FET) بواسطة المقاومة R_G ، التى تقع قيمتها فى المدى من $1\text{ M}\Omega$ الى $10\text{ M}\Omega$ هذا ولفاعلة مكثف التقويت C_B قيمة صغيرة بالنسبة الى قيمة المقاومة R_B عند تردد التشغيل فيقوم المكثف بتهيئة دائرة قصر فعالة للتيار المتردد عبر R_B ، بحيث يتابع الخرج بكل دقة ما يحدث من تغيرات فى اشارة الدخل ، والمكثفان C_1 و C_2 يعوقان مرور التيار المستمر ويسمحان بنقل اشارتى الدخل والخرج V_{in} و V_{O} خلالهما بفقد صغير جدا .

وتؤدى الزيادة فى قيمة الجهد V_{in} فى شكل ١٣ - ٥ الى زيادة التيار المنساب خلال ترانزستور التأثير الجالى (FET) ومعه يزداد جهد الخرج . وكنتيجة لهذا ، يتبع جهد طرف الخرج تغيرات اشارة الدخل بالتقريب .

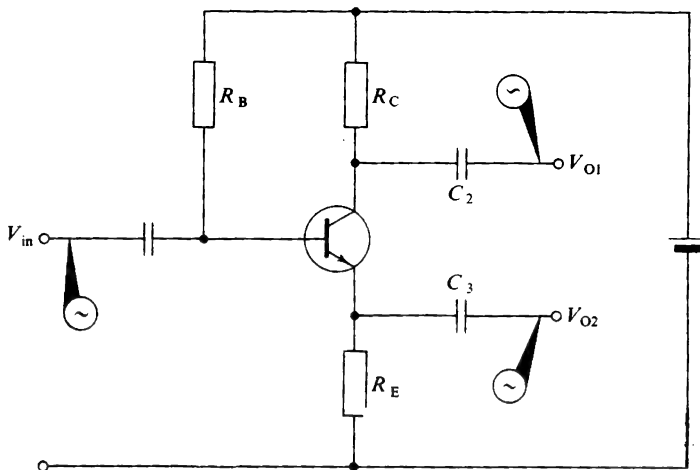
ويكتسب تابع المصدر السمات التالية والتي تشاركه فيها ايضا دائرة تابع الباعث .

- [أ] له كسب جهد يعادل الوحدة بالتقريب وهو مكبر غير عاكسى للطور
- [ب] له معاوقة دخل مرتفعة
- [د] له معاوقة خرج منخفضة

١٣ - ٦ مكبر شطر الطور

تحتاج بعض التطبيقات الى دائرة لتزود اشارتى خرج متضادتا الطور . وعلى سبيل المثال ، تحتاج المكبرات دفع - جذب [أنظر الفصل الحادى عشر] الى اشارتين متساويتين فى المقدار ومتضادتي الطور بمقدار 180° . ومكبر شطر الطور يمثل احدى الدوائر التى تهىء خرجا من هذا النوع .

يوضح شكل ١٣ - ٦ فكرة عمل كثير من مكبرات شطر الطور . ويستخدم فى هذه الدائرة مقاومتى حمل هما المقاومة R_C فى دائرة المجمع والمقاومة R_E فى دائرة الباعث . بحيث أن التيار المار فى أى منهما يكاد أن يتساوى مع التيار الاخر والمقاومة R_B هى مقاومة انحياز تزود منطقة القاعدة بتيار السكون والمكثفات C_1 ، C_2 و C_3 هما مكثتان مانعة لهم قيم مفاعلة منخفضة عند تردد التشغيل



شكل ١٣ - ٦ فكرة عمل مكبر شطر الطور

وعندما تزيد قيمة اشارة الدخل V_{in} ، فان ذلك يؤدي الى قيمة التيار فى كل من هذا المجمع والباعث . وبالتالي ، يزداد فرق الجهد بين طرفى كل من R_E و R_C . ونتيجة لذلك تنخفض قيمة جهد المجمع (V_{O1}) وتزداد قيمة جهد الباعث (V_{O2}) ، أى أن طورى V_{O1} و V_{O2} متضادان بينما طوراً V_{in} و V_{O2} متفقان . وفى دوائر كثيرة ، تتساوى قيمتا R_C و R_E . وحيث أن تغير التيار الناتج عن V_{in} متساويا فى كلتا المقاومتين ، فان قيمة كسب

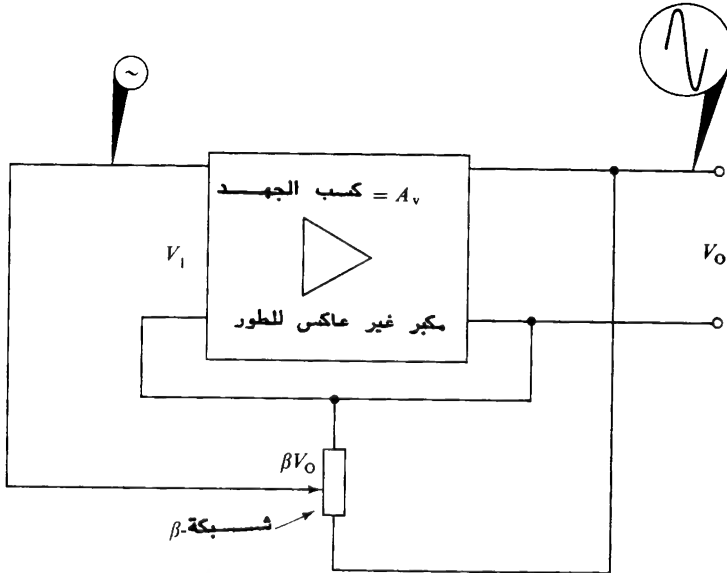
الجهد بين V_{in} و V_{O1} تتخذ نفس القيمة لكسب الجهد بين V_{in} و V_{O2} بالتقريب وعلاوة على ذلك ، فبناء على مفعول تابع الباعث فان قيمة كسب الجهد بين V_{in} و V_{O2} تقارب الوحدة . أى أنه إذا كانت $R_C = R_E$ ، فان كسب الجهد المعطى بالنسبة V_{O1}/V_{in} له قيمة تساوى حوالى 1 - والنسبة بين V_{O2}/V_{in} لها قيمة الوحدة بالتقريب .

وفى الدائرة التى تتساوى فيها مقاومة كل من المجمع والباعث ، يجب أن يساوى جهد السكون من المجمع والباعث حوالى $0.75V_{CC}$ و $0.25V_{CC}$ على التوالى . ويسمح هذا باقتراب اقصى جهد للتأرجح بين طرفى كل مقاومة من حوالى 50% من جهد المصدر .

واذا اختلفت قيمة مقاومة الباعث عن قيمة مقاومة المجمع ، فان كسب الجهد بين V_{in} و V_{O2} ، يقارب الوحدة طبقا لمفعول تابع الباعث ، أما قيمة الجهد V_{O1}/V_{in} فانها تعطى بالنسبة R_C/R_E تقريبا . كمثال ، اذا كانت $R_C = 10\text{ k}\Omega$ و $R_E = 1\text{ k}\Omega$ فان قيمة V_{O1}/V_{in} تصبح حوالى 10 .

١٣ - ٧ التغذية المرتدة الموجبة والاستقرارية

بالاخذ فى الاعتبار عمل مكبر التغذية المرتدة فى شكل ١٣ - ٧ والذى يستخدم مكبرا غير عاكس للطور ، فمع مثل هذا المكبر يتفق طور V_1 مع طور V_O . كذلك ، يمكن التوصل على اشارة الدخل مباشرة من الخرج عن طريق شبكة β ، لهذه الدائرة الموضحة .



شكل ١٣ - ٧ فكرة عمل دوائر المذبذبات التى تستخدم تغذية يتردة موجبة .

دعنا نفترض ان كسب الجهد A_v للمكبر هو 100+ وان شبكة β تقل او تضعف هذه الاشارة بمعامل 0.01 قبل تسليطها على طرفى دخل المكبر . فضلا عن ذلك ، لنفترض ان قيمة V_1 بصفة مبدئية تساوى 0.1 V حيث ان كسب الجهد للمكبر هو 100، فان قيمة V_o هي $10V = 100 \times 0.1$ وتضرب شبكة β هذا الجهد الى $0.1 V = 10 \times 0.01$ وسيلاحظ القارئ ان قيمة جهد التغذية المرتدة الى دخل المكبر يكاد يكافئ للحفاظ على قيمة قدرها 10V عند طرفى خرج المكبر . اى انه من الناحية النظرية ، تظل جهود الدائرة بقيم $V_1 = 0.1 V$ و $V_o = 10 V$ بدون حدود ، ويعرف هذا بالاستقرار المشروط . فاذا استمرت المناقشة السابقة بالنسبة لقيمة اخرى للجهد $V_1 = 0.2 V$ ، فسوف يضطر القارئ الى استنتاج ان جهد الخرج سيظل عند قيمة 20 V . وفى الحقيقة فانه فى حالة الاستقرار المشروط للدائرة ، فمن الممكن من الناحية النظرية ان تستطيع اى وكل قيمة من جهد الخرج ان تزود دخل المكبر الصحيح الذى يكاد يكفى للحفاظ على جهد الخرج ، عند القيمة الاصلية . ولكي يحدث هذا ، يتحتم ان تكون قيمة كسب الجهد للدائرة الكهربائية الكاملة المحتوية على المكبر والشبكة β هي الوحدة . اى ان

$$A_v \beta = 1$$

وفى الحالة السابقة $A_v = 100$ و $\beta = 0.01$ مما يعطى قيمة للكسب الاطارى تعادل الوحدة .

وفى التطبيق العملى ، فمن النادر ان تبلغ القيمة اللحظية للكسب الاطارى ما يعادل الوحدة ، كما سيوضح فيما يلى : فالدائرة العملية من الطراز الموضح فى شكل ١٣ - ٧ ، يتم تصميمها بحيث تصبح قيمة كسبها الاطارى عند مجرد توصيلها اكبر من الوحدة . كمثال ، اذا كانت القيمة الابتدائية لكسب المكبر A_v تساوى 110 وكانت قيمة β تساوى 0.01 ، فان القيمة الابتدائية للكسب الاطارى تساوى 1.1 . وتحت هذه الظروف تزيد اشارة التغذية المرتدة الى دخل المكبر عن القيمة المطلوبة للحفاظ على جهد الخرج عند قيمة ثابتة . ومن ثم ، يبدأ جهد الخرج ومعه اشارة التغذية المرتدة الى طرفى الدخل فى الزيادة ايضا . ولن يمكن الحفاظ على هذه الحالة بدون حدود ، حيث ان زيادة جهد الدخل تؤدي فى النهاية الى اقتراب الترانزستور عند دخل المكبر الى حالة التشبع . وعندما يحدث هذا ، ينخفض كسب الجهد للمكبر ومعه ينخفض وبنفس المعدل جهد الخرج . واخيرا يكف جهد الخرج عن الزايد ، وفى لحظة واحدة ، يصبح جهد الخرج ثابتا ، وبعد هذه اللحظة من الزمن ، يؤدي اى تشويش صغير فى الدائرة [وهذا يقع باستمرار] الى بدء هبوط جهد الخرج من مستواه المرتفع . وتهبط ايضا اشارة التغذية المرتدة V_1 الى دخل المكبر، معجلة بذلك انخفاض جهد الخرج . وفى النهاية ، يهبط جهد الخرج الى نقطة تسبب عندها اشارة التغذية المرتدة ان يقترب الترانزستور عند مدخل المكبر الى حالة القطع . مرة اخرى ، ينخفض كسب الجهد للمكبر ويتناقص معدل انخفاض جهد الخرج حتى يصبح فى النهاية وعند لحظة معينة ثابت القيمة . وبطريقة تكاد تكون فورية ،

يبدأ جهد الخرج فى الازدياد مرة اخرى ، ويتكرر التسلسل الموضح سابقا بدون حدود .

وهكذا تؤدي التغذية المرتدة الموجبة بدرجة كافية الى تنذبج جهد الخرج بطريقة مستمرة وتكون الدائرة فى شكل ١٣ - ٧ أساسا لاشكال كثيرة لدائرة مذبذب مرتدة التغذية . وفى كثير من هذه الدوائر ، تحتوى شبكة ارتداد التغذية على مقاومات ومكثفات ، وفى البعض الآخر ، تحتوى على ملفات ومكثفات . ويتخذ الشكل الموجي لجهد الخرج فى بعض المذبذبات شكلا جيبيا وفى البعض الآخر يمكن أن يكون على شكل موجات مربعة أو مثلثة .

وبالرغم من انه لكى يبدأ التذبذب ، يجب أن يكون للدائرة كسبا اطاريا [أى قيمة حاصل ضرب $A_v\beta$] تزيد قيمته عن الوحدة ، الا أنه يتحتم لمجرد القيمة المتوسطة للكسب الاطارى أى تساوى الوحدة عبر الدورة الكاملة من أجل الحفاظ على استمرارية التذبذب . فحالما تبدأ تذبذبات جهد الخرج تصبح قيمة الكسب الاطارى منتظمة تلقائيا لتعطى قيمة متوسطة تساوى الوحدة عبر الدورة الكاملة .

١٣ - ٨ دوائر مذبذبات المقاومات والمكثفات

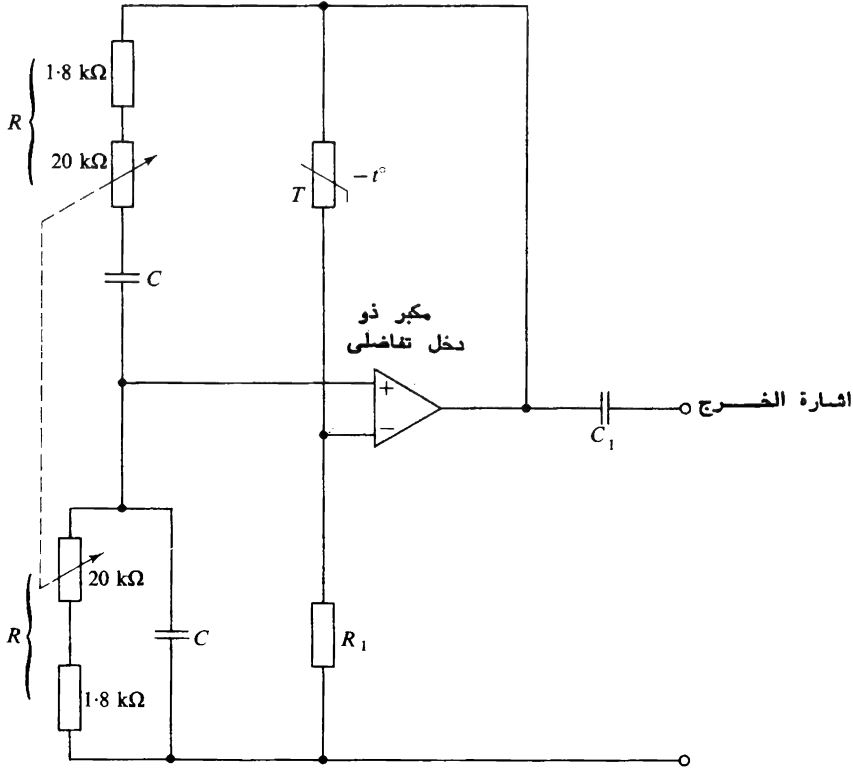
مذبذبات المقاومات والمكثفات هى دوائر تغذية مرتدة موجبة تستخدم مجموعة من المقاومات والمكثفات فى شبكة ارتداد التغذية . والمميزات الرئيسية لمذبذبات RC بالنسبة للأنواع الأخرى فى المدى الترددى من 1 Hz الى 1 MHz ، هو توافر إمكانيات التحصيل على قيم مناسبة للمقاومات والمكثفات . ووظيفة شبكة ارتداد التغذية RC هو تأكيد ان التغذية المرتدة الموجبة مسلطة الى المكبر ، قد ارتدت الى المكبر .

ولتنفيذ ذلك ، تقدم الشبكة ازاحة لطور الإشارة المسلطة عليها . ونتيجة لتلك الحقيقة ، تسمى الدوائر من مثل هذا النوع باسم مذبذبات ازاحة الطور .

ويوضح شكل ١٣ - ٨ النوع الشائع جدا لدائرة مذبذب RC تعرف باسم مذبذب قنطرة فين . وقد اخذ اسم قنطرة فين نظرا لتشابه دائرة المكثفات والمقاومات عند دخل المكبر مع دائرة قنطرة كهربائية تعرف بقنطرة فين [٥٠] .

فى هذه الدائرة ، يستخدم مكبر ذو دخلين منفصلين ، وسيعطى هنا مجرد وصف مختصر للمكبر ، حيث اننا سنتعرض له بالتفصيل فى الفصل الرابع عشر . يتفق طور إشارة جهد الخرج من المكبر مع طور الإشارة المسلطة على طرف الغير - عاكسى [وعليه العلامة +] ولكنه يضاد طور الإشارة المسلطة على طرف الدخل العاكسى [وعليه العلامة -] . وتؤثر إشارة التغذية المرتدة المأخوذة من خرج المكبر على كل من طرفى الدخل ، فالإشارة المؤثرة على طرفى الدخل + تسلط تغذية مرتدة موجبة على الدائرة بينما

الإشارة المؤثرة على طرف الدخل - تسلسل تغذية مرتدة سالبة . وتحدد قيم مكونات الدائرة . بحيث يغلب تأثير الإشارة المسيطرة على الدخل + وتسلسل تغذية مرتدة موجبة إجمالية لتؤدي الى حدوث التذبذبات .



شكل ١٢ - ٨ صورة شائعة للتذبذبات قنطرة فين

وتتكون المقاومة R في كل من جزئي RC من عنصرين كما يلي : يستخدم تجمع المقاومتين التوام المتغير كوسيلة . للتحكم في التردد ، ويضمن المقاوم الثابت $1.8 \text{ k}\Omega$ لتأكيد أن القيمة الكلية للمقاومة في الدائرة لن تنخفض الى الصفر عندما تقل قيمة المقاومة المتغيرة الى الصفر . ومع قيم المقاومات الموضحة في الشكل ، يمكن تغيير تردد تذبذب الدائرة على مدى ترددي يزيد قليلا عن $10 : 1$. ويعطى تردد تذبذب الدائرة من العلاقة

$$f_0 = 1/6.28RC \text{ Hz}$$

حيث تعطى قيمة R بالآوم وقيمة C بالميكروفراد . فاذا كانت قيمة $C = 0.5 \mu\text{F}$ فان قيمة تردد التذبذب للدائرة تقع في المدى من حوالي 15 Hz الى حوالي 180 Hz . هذا ويؤدي انقاص قيمة المكثف C لقيمة تساوي $0.05 \mu\text{F}$ الى أن يصبح تردد التذبذب بين 150 Hz الى 1800 Hz . ومن الممكن بناء مذبذب بسيط باستخدام مكبر تشغيلي من النوع 741 [انظر

الفصلين الثانى عشر والرابع عشر [. مع ثرمستور (T) طراز R 53 ومقاومة (R_1) قيمتها 470Ω .

ووظيفة الثرمستور T والمقاومة R_1 بالنسبة للمذبذب هى توفير استقرار جيد لسعة جهد الخرج . وسيوضح فيما يلى الطريقة التى تهيم بها هذه المكونات استقرارا لسعة الجهد .

فاذا جنحت قيمة ج.م.م جهد الخرج الى الزيادة ، فان التيار المنساب خلال الثرمستور يزداد ايضا . ويؤدى تأثير الحرارة الذاتية للتيار المنساب فى الثرمستور الى انخفاض قيمة مقاومتها وهكذا تسلط جزءا اكبر من جهد الخرج على طرف الدخل للمكبر . وحيث ان اشارة الدخل هذه تسلط تغذية مرتدة سالبة على الدائرة ، فان تأثيرها يسؤدى الى اقلال كسب الجهد الاجمالى للمكبر والنتيجة النهائية هى عودة سريعة لقيمة ج.م.م جهد الخرج الى قيمة اقرب الى الصحة .

وتستخدم مذبذبات قنطرة مبنى بكثرة فى المعامل ، وتهيم اشارة جيبيه مستقرة مع تشوه قليل جدا .

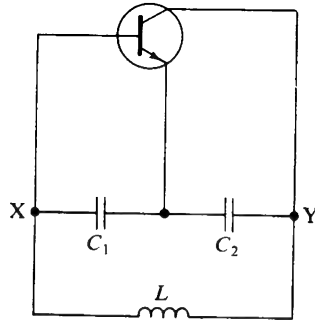
١٣ - ٩ دوائر مذبذبات المحاثات والمكثفات

عند الترددات المرتفعة جدا ، اى اكثر من حوالى MHz ، تفوق المذبذبات التى تستخدم المحاثه والمكثف لدوائر تغذيتها المرتدة ، تلك المذبذبات التى تستخدم المقاومة والمكثف .

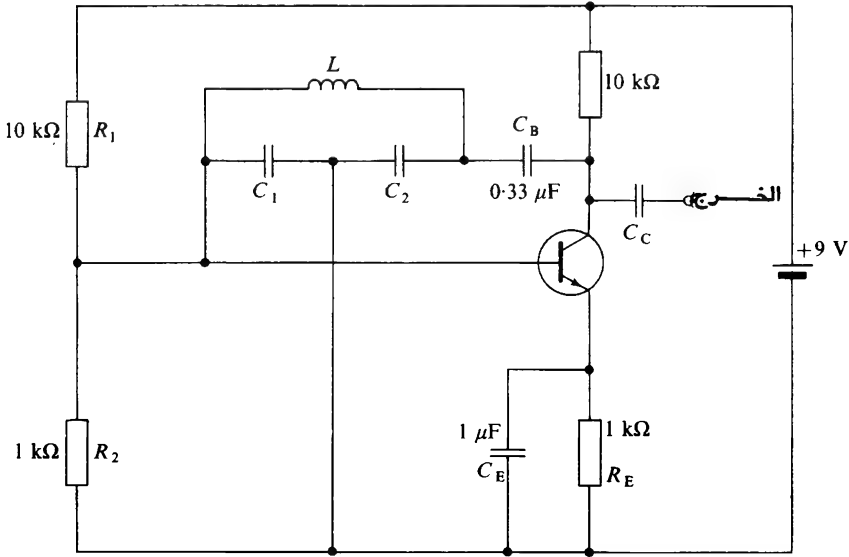
ويوضح شكل ١٣ - ٩ احدى صور مذبذب LC المعروف بمذبذب كولبيتس . ويبين الرسم التخطيطى فى شكل ١٣ - ٩ القواعد الرئيسية لهذا المذبذب . اذ تحدد قيمة تردد تذبذب الدائرة بتردد الرنين للدائرة المحتوية على الملف L والمكثفان C_1 و C_2 . وفى هذه الدائرة ، تزيد سعة المكثف C_1 كثيرا عن قيمة المكثف C_2 ، وحيث ان المكثفين متصلين على التوالي ، فان السعة الفعالة للمكثفين تساوى بالتقريب سعة المكثف C_2 [انظر الجزء ٣ - ٧ من الفصل الثالث ايضا] . ونتيجة لذلك ، تعطى القيمة التقريبية لتردد الرنين للدائرة بالعلاقة

$$f_0 \approx 1/6.28\sqrt{(LC_2)} \text{ Hz} = \frac{1}{8.4\sqrt{LC_2}}$$

حيث تحدد قيمة L بالهنرى و C بالميكروفراد .



[١]



[ب]

شكل ١٣ - ٩ [١] أساس عمل مثبت كوليتس و [ب] احد اشكال الدائرة المستخدمة في التطبيق العملي .

هذا ودائرة LC بين النقطتين X و Y في شكل ١٣ - ٩ [١] هي عبارة عن دائرة توازي لها معاوقة مرتفعة جدا عند حالة الرنين . ويشارك المكثفان C_1 و C_2 الجهد عبر الدائرة ، فيسلط الجهد بين طرفي المكثف C_1 على دخل الترانزستور اى بين القاعدة والباعث . وتحدد علاقة الطور بين جهدي القاعدة والمجمع بحيث تسلب تغذية مرتدة موجبة على الدائرة وتتواجد الاحوال الصحيحة المهيأة للتذبذب .

ويوضح شكل ١٣ - ٩ شكلا لدائرة مستخدمة في التطبيق العملي وتدعو الحاجة الى المكونات R_1 و R_2 و C_E لاغراض الانحياز والاستقرار الحرارى ، كما تدعو الحاجة الى المكثفين C_C و C_B لاغراض اعاقه التيار

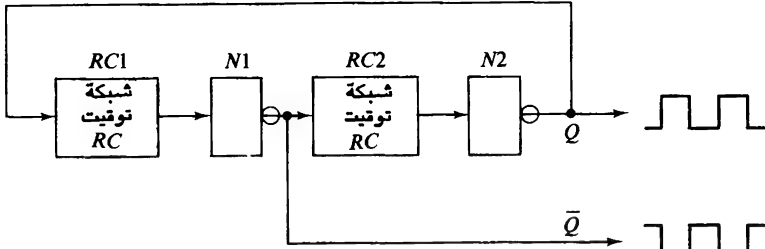
المستمر . وتصبح الشبكة التى تحوى المحاثة L والمكثفين C_1 و C_2 هي ذلك الجزء من الدائرة الموضحة فى شكل ١٣ - ٩ [ب] الذى يحدد قيمة التردد حيث يحقق كل عنصر منها الوظائف الموجزة فى شكل ١٣ - ٩ [ا] .

ومن الممكن استخدام هذا النوع من الدوائر لتوليد ترددات فى المدى ما بين التردد السمعى وعده جيجا هيرتز [$1\text{GHz} = \text{مليون كيلوهرتز}$] .

١٣ - ١٠ المذبذبات متعددة التوافقيات الغير مستقرة

ان المذبذب متعدد التوافقيات الغير مستقرة أو المذبذب متعدد التوافقيات طليق الحركة هو عبارة عن دائرة تهيبء من خرجة شكلا موجيا مربعا [أو يقترب من ذلك] . وتساوى القيمة الابتدائية لجهد الخرج Q . من الدائرة الصفر ولفترة من الزمن تحدد بواسطة شبكة التوقيت RC ، تزداد بعدها الى قيمة اعلى من الجهد . ويظل الخرج عند المستوى المرتفع من الجهد لفترة من الزمن تحدد بواسطة شبكة التوقيت RC الثابتة ، تهبط قيمة الخرج بعدها الى الصفر مرة اخرى وتكرر هذه الدورة من الاحداث بدون حدود .

ومن الممكن شرح فكرة عمل هذه الدائرة بالاستعانة بالرسم التخطيطى فى شكل ١٣ - ١٠ . يتكون المذبذب متعدد التوافقيات [المتعدد الاهتزازات] من بوابتي NOT هما $N1$ و $N2$ بحلقة للتغذية المرتدة الموجبة تحتوى على شبكتى توقيت RC هما $RC1$ و $RC2$ على الترتيب .

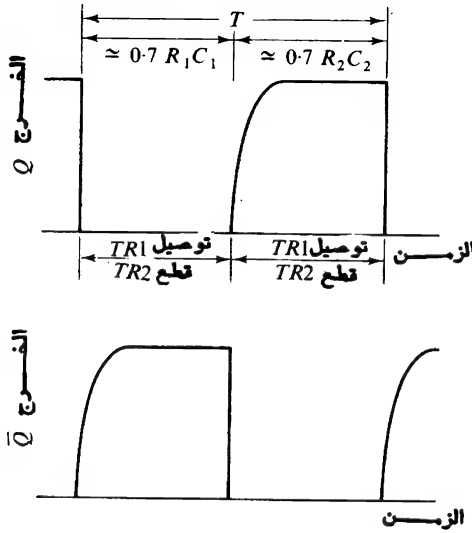
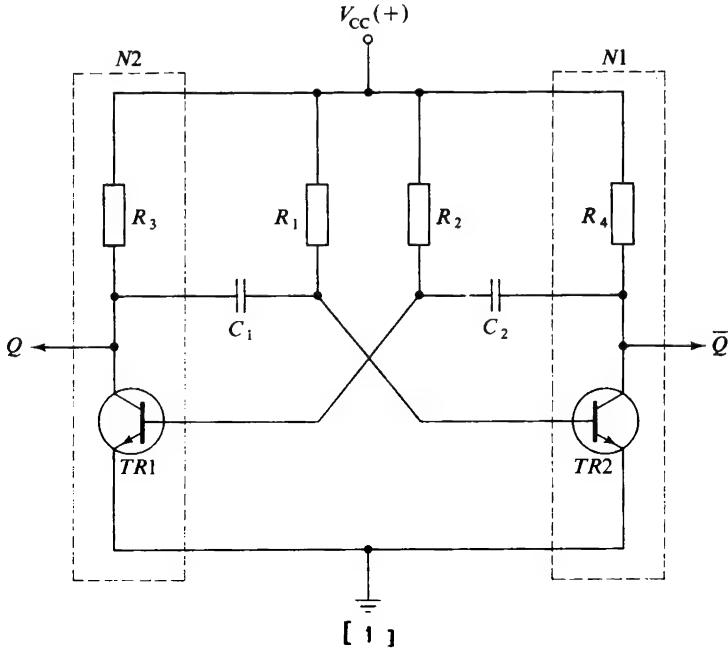


شكل ١٣ - ١٠ فكرة عمل المذبذب متعدد التوافقيات [المتعدد الاهتزازات] .

وتعطى شبكات التوقيت درجة التأخير المشار اليها سابقا ، ويتم كل من الخرجين Q و \bar{Q} من البوابتين $N2$ و $N1$ على الترتيب بعضهما البعض . بمعنى انه عندما يكون الخرج Q مرتفعا او عند المنطق «1» فان الخرج \bar{Q} يصبح منخفضا او عند المنطق «0» .

ويوضح شكل ١٣ - ١١ الصورة الشائعة لهذه الدائرة فى التطبيق العملى . وبمقارنة هذه الدائرة مع شكل ١٣ - ١٠ يتضح أن بوابة اللاسماح فى الشكل الاخير تتكون من الترانزستور $TR2$ والمقاومة $R4$ فى شكل ١٣ - ١١ ، وتتكون البوابة $N2$ من الترانزستور $TR1$ والمقاومة $R3$ وتشمل

دوائر التوقيت RC1 و RC2 في شكل ١٣ - ١٠ المكونات R_1C_1 و R_2C_2 على الترتيب ، في شكل ١٣ - ١١ . تؤكد التوصيلات الداخلية ، بين البوابتين أنه عندما يتشبع الترانزستور TR1 فان الترانزستور TR2 يصبح في حالة القطع والعكس بالعبس وفترة قطع الترانزستور TR1 تساوي الى درجة كبيرة جداً $0.7R_2C_2$ ثانية [R بالاووم و C بالفاراد او R ميجااووم و C بالميكروفاراد] ، وتساوي فترة قطع الترانزستور TR2 الى درجة كبيرة جداً $0.7R_1C_1$ ثانية . وفي دوائر كثيرة يصبح من الانسب استعمال قيمة موحدة للمقاومتين بحيث أن $R_1 = R_2 = R$ وبالمثل توحيد



[ب]

شكل ١٣ - ١١ [١] الدائرة المشيئة للمذبذب متعدد التوافقيات و [ب] الشكل الموجبة للفرع .

قيم المكثفين ($C_1 = C_2 = C$) والزمن الدورى T للتذبذب فى هذه الدائرة هو

$$T \simeq 1.4RC \text{ seconds}$$

وتردد التذبذبات هو

$$f_0 = 1/T = 1/1.4RC$$

فمثلا اذا كانت $C = 0.01 \mu F$ و $R = 10 k\Omega$ (أو $0.01 M\Omega$)

$$T = 1.4 \times 0.01 \times 0.01 = 1.4 \times 10^{-4} s \quad \text{فان}$$

$$f_0 = 1/T = 1/(1.4 \times 10^{-4}) = 7143 \text{ Hz} \quad \text{و}$$

وفى الحقيقة ، يحتفل أن يختلف تردد التذبذب للخروج قليلا عن القيمة المحسوبة سابقا ، وتتضمن الاسباب أن قيم المقاومات والمكثفات لا تحيد عن قيمتها الاسمية فحسب بل أن مصدر الجهد ومتغيرات الترانزستور تتعرض هى الاخرى بالمثل الى تغيرات مع الزمن ودرجة الحرارة . وبالرغم من ذلك فانه من الممكن الاعتماد على هذه الدائرة فى التشغيل وانها لتستخدم كمولد للموجة « المربعة » .

وسيلاحظ القارئ انحناء اللاطراف المتقدمة لاشكال موجة الخرج [شكل ١٣ - ١١] . ويمكن تحسين هذا الانحناء بعمل تعديلات فى الدائرة لتعطى موجة تكاد تقترب من الموجة المربعة المثالية ، وتحسن هذه التعديلات ايضا من امكانية الاعتماد على دقة توقيت الشكل الموجى .

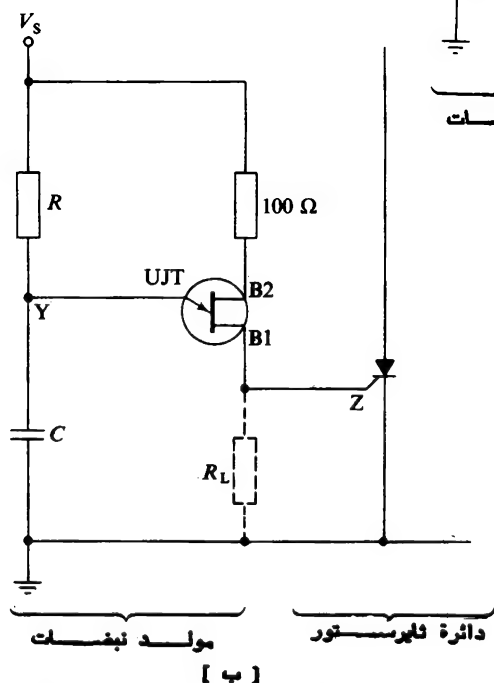
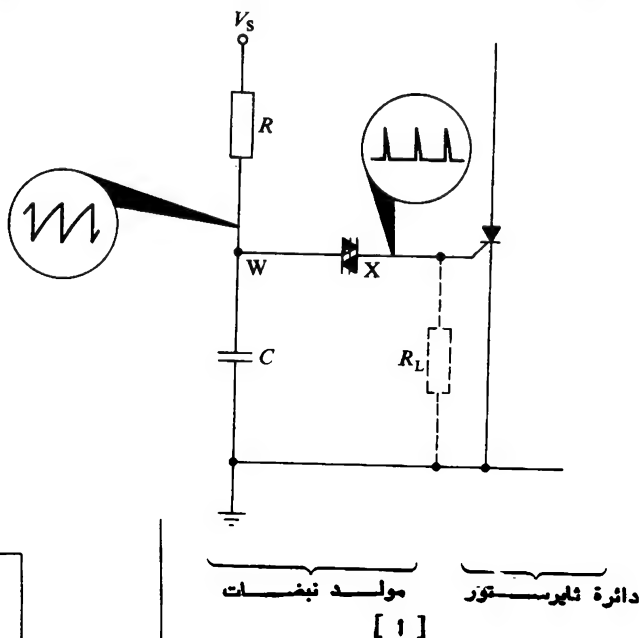
١٣ - ١١ مولدات النبضات

سنصف هنا دائرتين مناسبتين لتوليد نبضات لدوائر بوابة الثايرستور وتستخدم هاتين الدائرتين فى تطبيقات كثيرة ابتداء من مصادر القدرة للتليفزيون الملون الى التحكم فى سرعة ماكينة الدلفنة . وتعتبر كلتا الدائرتين جزء من مجموعة كبيرة تعرف بمذبذبات الترخاخ ، التى تولد موجات غير جيبيه عن طريق الشحن التدريجى للمكثف ثم تفريغه سريعا .

ويشحن المكثف فى كلتا الحالتين الموضحتين فى شكل ١٣ - ١٢ ، من مصدر الجهد V_s عن طريق المقاومة R . ويعطى هذا الجزء من الدائرة قسم الشحن التدريجى ، علما بأن تدريجى هى كلمة نسبية لان المكثف يمكن ان يشحن الى اقصى قيمة له فى $0.0003 S$ فقط ! ، وقد وصل بين طرفى المكثف دائرة مفتاح حساسة للجهد تشتمل على دايك فى الرسم التخطيطى [١] وعلى ترانزستور احادى التوصيل (UJT) فى الرسم التخطيطى [ب] ويقوم المكثف بالتفريغ بسرعة [فى حوالى $10 \mu s$ مثل هذا «النحو»] اما فى بوابة الثايرستور ، كما هو موضح بالخط الممتلئ فى الرسوم التخطيطية ،

أو في مقاومة الحمل [مبينة بخط متقطع] . وسيوضح فيما يلي وصف مختصر لعمل هذه الدائرة .

ففي الحالة المبينة في شكل ١٣ - ١٢ [١] ، يجب أن تزيد قيمة جهد المصدر دائماً عن جهد انهيار الدايك V_{BR} . وبفرض أن المكثف C كان مغرغاً في البداية عند توصيل المصدر ، فإن الجهد بين طرفي المكثف يبدأ في الزيادة بمعدل يتوقف على قيمتي جهد المصدر والمقاومة R . وبعد قليل



شكل ١٣ - ١٢ دوائر مولد نبضات تستخدم [١] دايك [ب] ترانزستور اهادي التوصيل

من الوقت عادة بضعة وحدات من الملي ثانية او اقل] ، يصل الجهد عند النقطة W الى جهد انهيار الدايك ، مولد نبضات .

وعندما يحدث هذا ، فسرعان ما يقوم الدايك بتفريغ جزء من الطاقة المخزنة فى المكثف فى بوابة الثايرستور ، مما يحول الثايرستور الى حالة التوصيل . وبمجرد ان يفرغ المكثف جزء من شحنته ، لن يستطيع جهد المكثف ان يحافظ على استمرارية حالة توصيل الدايك ، فيهبط تيار التفريغ للمكثف الى الصفر عندما يتحول الدايك الى حالة القطع بعدئذ يبدأ المكثف فى الشحن مرة اخرى وتكرر هذه الدورة . وشكل الجهد الموجى عند النقطة W عبارة عن سن المنشار بزمان دورى يعادل الفترة الزمنية بين نبضتى تفريغ ويتخذ الشكل الموجى عند النقطة x شكل سلسلة من النبضات لها مدة بقاء بضعة وحدات من الميكروثانية وتصلح لاطلاق توصيل معظم انواع الثايرستور .

ويمكن استخدام دائرة الدايك فى شكل ١٣ - ١٢ [١] مع مصدر جهد متردد ، وفى هذه الحالة ، تقوم أثناء النصف الموجب للاشكال الموجية لجهد المصدر بتوليد شكل موجى لسن المنشار ذى اتجاهية موجبة عند النقطة وسلسلة نبضات ذات اتجاهية موجبة عند النقطة x . أما فى أثناء النصف السالب للدورات فانها تولد اشكالا موجية لسن المنشار ولسلسلة من النبضات ذات الاتجاهية السالبة عند النقطة W, X على الترتيب . عندما يستخدم الدايك على هذا المنوال ، فانه يصبح ملائما لفرض التحكم فى الدايك [انظر الفصل الخامس عشر] المستخدم فى دائرة التيار المتردد .

وتعمل دائرة الترانزستور احادى التوصيل (UJT) المبينة فى شكل ١٣ - ١٢ [ب] بصفة عامة بأسلوب مماثل لدائرة الدايك ، وعند ارتفاع الجهد بين طرفى المكثف الى نقطة الجهد الذروى للترانزستور احادى التوصيل ، فسرعان ما تفرغ شحنة المكثف المختزنة فى بوابة الثايرستور . مرة اخرى تستغرق فترة التفريغ بضعة وحدات فقط من الميكروثانية . هذا ويعمل الترانزستور احادى التوصيل الموضح بالشكل على مصدر للجهد ذى قطبية موجبة ، ويقوم بتوليد اشكال موجية لسن المنشار والنبضات ذات اتجاهية موجبة عند النقطتين Y و Z على الترتيب .

الفصل الرابع عشر

دوائر المكبر التشغيلي

١٤ - ١ ما هو المكبر التشغيلي ؟

يختصر اسم المكبر التشغيلي في اللغة الانجليزية الى op — amp. وببساطة هو مكبر خطى ذو تقارن مباشر ، له قيمة كسب جهد مرتفعة [عادة اكبر من 1000] .

قدمت من قبل ملاحظة مختصرة عن سمة من سمات المكبر التشغيلية تتضمن وجود طرفى دخل وعلامتى « + » و « - » في الدائرة الرمزية بشكل ١٤ - ١ [١] وتتعلق قطبية الاشارتين بعلاقات الطور بين كل اشارة دخل واشارة خرج ، كما هو موضح في شكل ١٤ - ١ [ب] . اذ توضح هذه الرسوم أن طور اشارة الخرج يتفق تماما مع طور الاشارة المسلطة على الدخل [بالعلامة +] ، الذى يعرف بالدخل **الغير عاكسى** ، ويضاد الاشارة المسلطة على الدخل [بالعلامة « - »] ويعرف بالدخل العاكسى .

يوضح شكل ١٤ - ١ [ج] أكثر الدوائر التكاملية الخطية شيوعا وهو المكبر التشغيلي 741 . الذى يمكن التحصل عليه في المجموعة ثنائية الخطوط ذات الثمانية اطراف . ويستخدم في توصيل المكبر التشغيلي سبعة اطراف فقط من الثمانية حيث لا يستخدم طرف واحد منها . والدائرة التخطيطية للمكبر التشغيلي 741 معقدة حقا ، وقد سبق أن عرضت في الفصل الثامن عشر [شكل ١٢ - ٩] .

وهناك سمة لا تدعو الى الارتياح لكثير من المكبرات التشغيلية تتمثل في انسياق جهد الخرج عن قيمته ببطء مع الزمن ومع التغير في درجة الحرارة . وينتج هذا لانسياق بوجه عام من التغيرات داخل المكبر ، ويؤدى الى جهد الازاحة الذى يظهر عند خرج المكبر . ومن الممكن معادلة جهد الازاحة هذا باليد بتوصيل مفرق RV كما هو موضح في الرسم [ج] ، حيث تنفذ عملية المعادلة بتسليط جهد قيمته صفر على كل من خطى دخل

الإشارة في نفس الوقت ، ويضبط موضع منزلق الإزاحة الصفرية حتى تقل قيمة جهد التيار المستمر عند خرج المكبر إلى الصفر . وعند الاستعمال ، تدعو الحاجة لعملية المعادلة هذه على مجرد فترات متباعدة . وفي بعض الحالات ، يمكن حذف مفرق الإزاحة الصفرية ، لكننا ننصح بالتشاور مع مصنعى المكبر التشغيلى إذا ما اتجهت النية إلى ذلك .

وكسب الجهد عند الترددات المنخفضة للمكبر التشغيلى 741 مرتفع جدا حيث يبلغ حوالى 100 000 عند ترددات فى المدى من صفر [تيار مستمر] إلى 10 Hz ، كما هو موضح بمنحنى الاستجابة للتردد فى شكل ١٤ - ١ [د] ، وإلى جوار هذه القيمة من التردد (40 Hz) ، ينقص الكسب بمعامل عشر مرات كلما زاد التردد بمعامل عشر مرات .

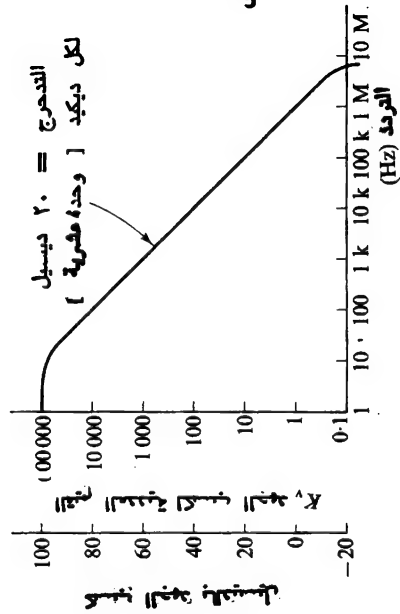
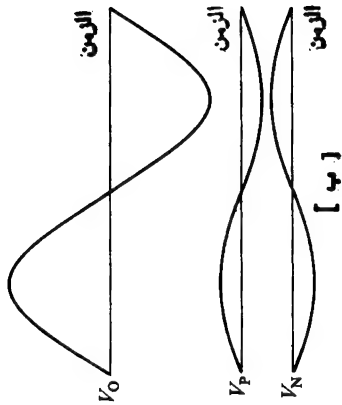
ويستمر هذا المعدل فى التدرج مما يكافئ انخفاضاً فى كسب الجهد مقداره 20 ديسبل لكل وحدة عشرية من تغير التردد [إلى أعلى حتى نصل إلى تردد يقترب من 10MHz ، حيث يكون كسب الجهد قد انخفض إلى حوالى 0.1 وبالتقرب من هذه النقطة ، ينخفض الجهد بسرعة أكثر .

ومن الممكن خلال التشغيل أن تستخدم أطراف داخل واحد أو كليهما فى الدوائر البسيطة التى تحتاج استخدام طرف دخل واحد فقط ، يوصل الطرف الآخر بالدخل عادة بالقاعدة المعدنية للمعدات [أو إلى الخط الأرضى] أما مباشرة أو خلال مقاومة . وسنزيد القول عن ذلك فيما بعد .

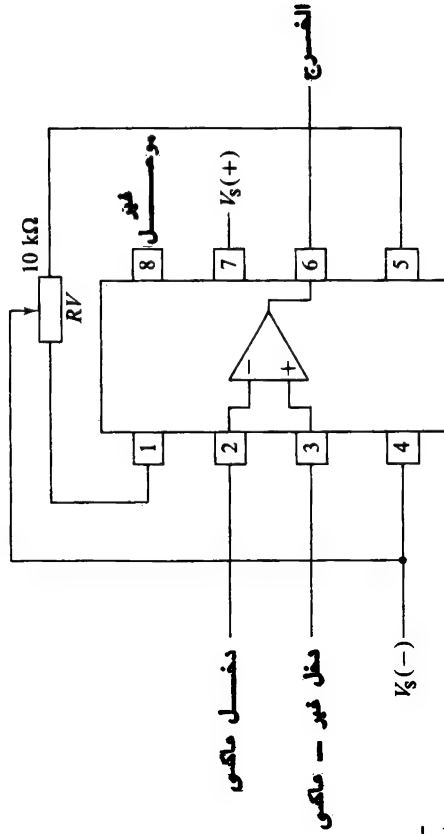
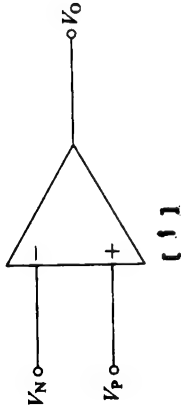
مواصفات وحدتى مكبر تشغيلى تقليديتين . يعطى جدول ١٤ - ١ قيم المتغيرات الاثر أهمية للمكبر التشغيلى 741 ، الذى يستخدم وحدات شاملة من ترانزستور ثنائى القطب ، وكذلك المتغيرات لطراز مشابه من المكبرات التشغيلية بوحدات ترانزستور التأثير الجالى عند الدخل .

جدول ١٤ - ١ الكميات المتغيرة القيمة المهمة لنوعى المكبر التشغيلى

مكبر تشغيلى يستخدم ترانزستور التأثير الجالى		المكبر التشغيلى
± 3 V to ± 18 V 30 V 0-70°C	± 6 V to ± 18 V 30 V 0-70°C	مصادر الجهد أقصى جهد تفاوت الدخل مدى درجة حرارة التشغيل فترة بقاء دائرة قصر الخرج أدنى قيمة للحمل الموصل أقصى قدرة كلية مبددة تأرجح جهد الخرج كسب الجهد عند الترددات المنخفضة المقاومة بين طرفى الدخل
غير محدد	غير محدد	
200 Ω 500 mW ± 13 V 100 000 2 × 10 ⁵ Ω	1000 Ω 500 mW ± 10 V 100 000 10 ¹⁴ Ω	



[د]



المجموعة ثنائية الخطوط ذات الدائرية الحراب

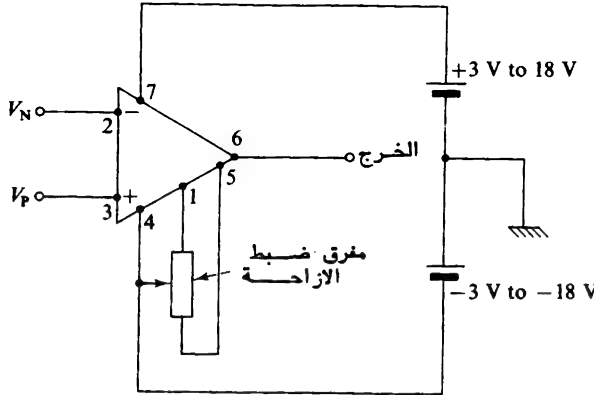
[ج]

شكل ١٤ - ١ [ا] رمز الدائرة استخدام للمكبر [تشغيل] [ب] الشكل المربى لكل من الدخل والمخرج للإشارات الجيبية [ج] مجموعة ثنائية الخطوط ذات الدائرية الحراب التي تعوى المكبر التشغيلي الشائع 741 وموضع عليه دائرة تعامل الإزاحة و [د] مخفي الاستجابة للتردد للمكبر التشغيلي

ولسوف يلاحظ القارئ أن مدى جهد المصدر لهذين النوعين متفق بالتقريب . ويوضح شكل ١٤ - ٢ ترتيباً لدائرة مصدر تقليدية للمكبر التشغيلي 741 ومن الممكن التحصل تجارياً على مصادر مقدرة خاصة لمكبرات الدوائر التكاملية الخطية لتعطى جهدى خرج أحدهما بقطبية موجبة والاخر بقطبية سالبة ، يمكن ضبط قيمة كل منهما على حدة . وغالباً ما تضم هذه المصادر سمات كالتي توفر وقاية ضد قصر دوائر الخرج وضد تجاوز جهود الخرج [انظر ايضا الفصل الخامس عشر] .

وتصبح اشارة الدخل الكلية المسلطة على المكبر هي فرق الجهد بين V_N و V_P [انظر شكل ١٤ - ٨] وتعرف هذه الاشارة على انها **تفاوت مكبر الدخل** . ونتيجة لذلك ، يعرف مثل هذا الطراز من المكبرات ايضا باسم **مكبر تفاوت الدخل** . وبالنسبة لكلا المكبرين التشغيليين المدرجين تؤمن الوقاية ضد دائرة القصر داخل المكبرات حتى لا تتلف عند حدوث دوائر قصر للأرض عند خرج الاطراف .

وتمثل قيمة مقاومة الدخل بين طرفي الدخل متغيراً هاماً الى حد ما وعلى وجه الخصوص عندما يستخدم المكبر التشغيلي مع مكامل الكتروني [انظر فصل ١٤ - ٨] . ولسوف يلاحظ القارئ أن قيمة مقاومة الدخل لدخل المكبر التشغيلي من نوع ترانزستور التأثير المجالى [انظر آخر سطر من جدول ١٤ - ١] تعادل حوالى الف مليون مرة مثيلتها للمكبر التشغيلي 741 ثنائى القطب . ولكي يتم تشغيل دائرة ما كأداة تكامل على وجه مرضي ، فانه يصبح من المرغوب فيه ان تتخذ مقاومة الدخل قيمة على اقصى درجة ممكنة من الارتفاع [يجب ان تساوى ما لانهاية من الوجهة النظرية] . بناء على ذلك ، تعتبر المكبرات



شكل ١٤ - ٢ توصيلات المصدر وتمائل الازاحة للمكبر التشغيلي 741 .

التشغيلية عند الدخل من طراز ترانزستور التأثير المجالى اكثر ملائمة فى استخدامات دوائر التكامل الالكترونية .

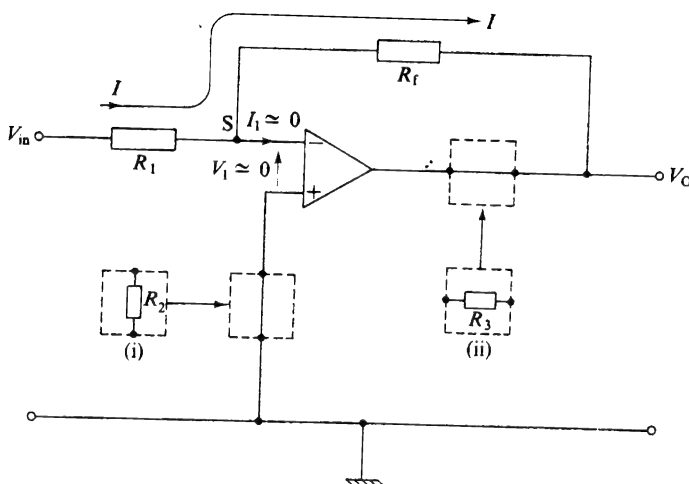
سيلاحظ القارئ ايضا القيمة المرتفعة جدا لكسب الجهد المصاحب لهذا النوع من المكبرات (فى العادة 100 000) . وهذه القيمة من كسب الجهد فى حد ذاتها تعتبر غالباً مرتفعة اكثر من اللازم . فعلى سبيل المثال ، اذا أمكن استخدام هذه القيمة من الكسب ، فانه نظراً الى أن اقصى تأرجح لجهد

الخرج لمكبرات النوع 741 هو $\pm 13 \text{ V}$ ، فان اكبر قيمة يسمح بها لتأرجح جهد الدخل هي $\pm 13 \times 10^{-5} \text{ V} = \pm 0.13 \text{ mV}$ أو حوالى 0.1 V ج.م.م ومن الواضح جدا ، أن هذه القيمة لجهد الدخل تعتبر صغيرة للدرجة التى لا تصلح معها لاي استخدام . وفى التطبيق العملى ، تدعو الحاجة الى التعامل مع تأرجح فى الجهد بقيمة $\pm 10 \text{ V}$ أو اكثر . وللتكيف مع هذه القيم العالية لتأرجح الجهد ، يصبح ضروريا تضمين مكبرات تشغيلية داخل حلقات تغذية مرتدة سالبة ، حيث تؤدي الى انقاص كسب الجهد للمكبر الى قيمة اكثر واقعية . ستم مناقشة دوائر التغذية المرتدة بالاستعانة بالمكبرات التشغيلية فى هذا الفصل .

١٤ - ٢ المكبر العاكسى أو مغير الاشارة

يوضح شكل ١٤ - ٣ دائرة يعم استخدامها فى علم الالكترونيات هى المكبر العاكسى سلاحظ القارىء عند مقارنة هذه الدائرة بالدائرة المبينة فى شكل ١٣ - ٢ [ب] انها تستخدم تغذية مرتدة بجهد سالب على التوازي وان مقاومة اضافية R_1 قد استخدمت فى شكل ١٤ - ٣ . وعند استخدام مكبر تشغيلى يكسب جهد فى حدود 100 000 ، فان جهدا V_1 لا تتعدى قيمته 0.0001 V فقط يلزم تسليطه على دخل المكبر لكى يعطى جهد خرج قيمته 10 V ومن الناحية الواقعية ، تقترب قيمة هذا الجهد الى حد كبير من الصفر ، مما ينتج عنه أن يرجع الى الوصلة S فى شكل ١٤ - ٣ كنقطة ارض افتراضية . وحيث ان قيمة V_1 صغيرة جدا ، فان قيمة التيار I_1 الذى ينساب الى داخل المكبر تصبح صغيرة جدا فى الواقع ، وبذا يمكن اعتبار قيمته مساوية للصفر . والان ، حيث أن $V_1 \approx 0$ ، فانه تبعا لذلك تصبح قيمة التيار I المنساب فى المقاومة R هى

$$I = \frac{V_{in} - V_1}{R_1} \approx \frac{V_{in}}{R_1}$$



شكل ١٤ - ٢ مكبر عاكسى مسلط عليه تغذية مرتدة سالبة للجهد وعلى التوازي .

حيث ان $I_1 = 0$ ، فانه عندما يصل التيار الى الوصلة S فانه ينساب خلال المقاومة R_f ، ومن ثم

$$I = \frac{V_1 - V_0}{R_f} \simeq -\frac{V_0}{R_f} \quad [١٤ - ٢]$$

وحيث أن قيمة كلا التيارين في المعادلتين السابقتين متساوية ، فان

$$-\frac{V_0}{R_f} = \frac{V_{in}}{R_1}$$

لذا يصبح كسب الجهد A_{vf} لمكبر التغذية المرتدة في شكل ١٤ - ٣ هو

$$A_{vf} = \frac{V_0}{V_{in}} = -\frac{R_f}{R_1}$$

وتعني الاشارة السالبة في المعادلة السابقة أن المكبر عاكس للطور . وتبلغ القيمة الملائمة للمقاومة R_f حوالى $10 \text{ k}\Omega$ علما بأن $1 \text{ M}\Omega$ تمثل رقما لقيمة قصوى مألوفة .

وفي بعض التطبيقات ، وجد انه اذا زادت قيمة R_f عن $10 \text{ M}\Omega$ فان جهد الخرج يصبح متذبذبا . ويمكن معادلة هذا التذبذب بتوصيل مكثف سعته حوالى 100 pF على التوازي . فاذا كانت $R_f = 10 \text{ k}\Omega$ و $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$ فان كسب الجهد للمكبر يصبح

$$A_{vf} = -\frac{R_f}{R_1} = -\frac{100}{10} = -10$$

بمعنى انه ، اذا كانت $V_{in} = +0.5 \text{ V}$ ، فان $V_0 = (-10) \times 5 = -5 \text{ V}$ ، فاذا سلط جهد جيبي متغير قيمته 0.5 V ج.م.م الى دخل مكبر التغذية المرتدة فان جهد الخرج بالمثل جيبي وبقية 5 V ج.م.م وتصبح زاوية الطور بينه وبين الاشارة المسلطة مساوية لـ 180° .

ومن الممكن التنبؤ بعرض النطاق الترددي لمكبر التغذية المرتدة [اى نطاق الترددات التى تكبر بقيمة منتظمة] من منطلق حقيقة أن حاصل ضرب الكسب وعرض النطاق لمكبر التغذية المرتدة هو مقدار ثابت . فعند تردد قيمته 10 Hz ، تكون قيمة الكسب $100\,000$ ، وحاصل ضرب الكسب في عرض النطاق الترددي للمكبر هو

$$10 \times 100\,000 = 1\,000\,000 = 10^6$$

فاذا انخفض الكسب بمقدار 10 كنتيجة لتسليط التغذية المرتدة ، فان عرض النطاق الترددي يصبح

$$\text{عرض النطاق الترددي} = 10^6 / A_{vf} = 10^6 / 10 = 10^5 \text{ Hz} \text{ او } 100 \text{ kHz}$$

طريقة معادلة الانسياق الحرارى بعد تشغيل المكبر لفترة قصيرة وجد
ان تغيرات طفيفة تحدث في جهد الخرج بسبب التأثيرات الحرارية وفي

أحدى الطرق المستخدمة لتقليل الانسياق الناتج عن هذه التأثيرات توضع مقاومة R_2 على التوالي مع طرف الدخل الغير عاكسى والموضح داخل الموضع (i) فى شكل ١٤ - ٣ .

ويمكن شرح السبب فى استخدام هذه المقاومة كما يلى . لنفترض ان خط الدخل الغير عاكسى قد وصل للأرض مباشرة ، كما هو موضح بالشكل وان قيمة الجهد V_{in} تساوى الصفر أى انها موصلة بالأرض . وتحت هذه الظروف ، يتسرب قدر ضئيل من التيار من كلا طرفى دخل المكبر ، فيمر التيار الخارج من طرف الدخل الغير عاكسى مباشرة الى الأرض ، بينما ينقسم التيار الخارج من الدخل العاكسى بين المقاومتين R_1 و R_f ويبدأ جهد صغير بين طرفى الدخل فى الظهور بالرغم من أن قيمة V_{in} تساوى الصفر نتيجة للتيار خلال R_1 و R_f ، وتؤدى هذه القيمة من الجهد الى جهد خرج يتغير مع درجة الحرارة .

ويقلل هذا التأثير لادنى حد ممكن بوضع المقاومة R_2 ، والتي تعرف باسم **المقاومة المعادلة لانسياق التيار** ، على التوالي مع خط الدخل الغير عاكسى ومن اللازم أن تكافئ قيمة المقاومة R_2 كهربائيا مجموعة التوازي R_1 و R_f . أى أن

$$R_2 = R_1 R_f / (R_1 + R_f)$$

فاذا كانت $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ و $R_f = 100 \text{ k}\Omega$ ، فإن

$$R_2 = 10 \times 100 / (10 + 100) = 9.09 \text{ k}\Omega$$

وتحتوى المعدات المتخصصة على هذه المقاومة ، ولكن يمكن حذفها من الدائرة البسيطة . وعندما توجد ضمن الدائرة ، فلن تؤثر على كسب جهد المكبر .

الوقاية ضد حدوث قصر : يبنى داخليا فى كثير من المكبرات التشغيلية دوائر وقائية ضد تيارات القصر عند الخرج ، ولكن بعضها منها لا يمتلك هذه الميزة . وفى هذه الحالة يفضل توصيل مقاومة R_3 على التوالي مع خط الخرج فى الموضع (ii) من شكل ١٤ - ٣ . وتبلغ القيمة الملائمة للمقاومة R_3 حوالى 47Ω .

١٤-٣ مكبر جممع

يوضح شكل ١٤ - ٤ دائرة مكبر بسيطة يمكن أن تجمع عدة اشارات مع بعضها البعض ويعطى جهد الخرج لهذا المكبر بالمعادلة التالية :

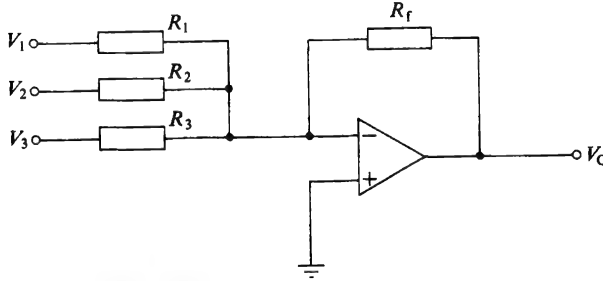
$$V_o = - \left(\frac{R_f}{R_1} V_1 + \frac{R_f}{R_2} V_2 + \frac{R_f}{R_3} V_3 \right)$$

فمثلا ، اذا كانت $R_f = 100 \text{ k}\Omega$ ، $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ ، $R_2 = 47 \text{ k}\Omega$ ، $R_3 = 100 \text{ k}\Omega$

فإن $V_1 = +1.5 \text{ V}$ ، $V_2 = -2 \text{ V}$ و $V_3 = 0.5 \text{ V}$ ، فإن

$$V_o = - \left(\left[\frac{100}{10} \times 1.5 \right] + \left[\frac{100}{47} \times (-2) \right] + \left[\frac{100}{100} \times 0.5 \right] \right) \\ = -(15 + (-4.26) + 0.5) = -11.24 \text{ V}$$

ومن الممكن استخدام هذا النوع من المكبرات ، مثلا ، فى وحدة خلط التردد السمعى ، التى تخلط بها اشارات من ثلاث مصادر مثل الميكرفون ، وجهاز التسجيل والقيثارة .



شكل ١٤ - ٤ مكبر جمع او دائرة اضافة للجهد

وكما فى حالة المكبر العاكسى الاساسى ، يمكن تهيئة التعادل الحرارى بتوصيل مقاومة على التوالى مع خط الدخل الغير عاكس . ويجب أن تساوى قيمة هذه المقاومة مجموعة التوازى المكونة من R_1 و R_2 و R_3 و R_f .
فى الحالة السابقة ، يجب أن تكون قيمتها حوالى $7.1 \text{ k}\Omega$

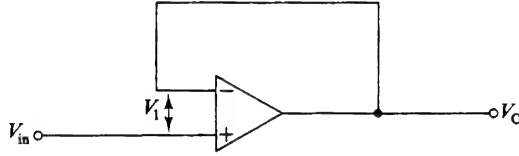
١٤ - ٤ دائرة تابعة الجهد

تحتاج تطبيقات كثيرة الى دائرة بالخواص التالية ،

- [أ] يجب أن يكون الكسب بقيمة الوحدة .
- [ب] يجب ان تكون غير عاكسة .
- [ج] يجب ان تكون مقاومة الدخل مرتفعة .
- [د] يجب ان تكون مقاومة الخرج منخفضة .

يوضح شكل ١٤ - ٥ مكبر تغذية مرتدة يحقق كل هذه المتطلبات ويمكن التحصل على هذه السمات بتسليط 100% تغذية مرتدة للجهد السالب وعلى التوالى مع دخل المكبر . بمعنى أن ، يغذى V_o خلفيا مباشرة الى الدخل العاكسى للمكبر التشغيلى . وهى فى الحقيقة ، تعتبر صورة اخرى محسنة لدوائر تابع الباعث والمصدر السابق توضيحها فى الفصل الثالث عشر . ويستخدم هذا النوع من المكبرات كمكبر صاد بين مصدر اشارة ذى معاوقة خرج مرتفعة وحمل ذى معاوقة دخل منخفضة . وتمثل المعاوقة

المرتفعة لدائرة تابع الجهد حملا كهربائيا خفيفا بالنسبة لمصدر الاشارة ولها معاوقة خرج منخفضة انخفاضاً كافياً [عادة جزء من الاوم] لكى تدفع تياراً بقيمة كبيرة نسبياً [أى كبيرة طبقاً للمقاييس الالكترونية] الى الحمل .



شكل ١٤ - مكبر صاى غير عاكس قيمة كسبه تعادل الوحدة .

ومن الممكن استنتاج سبب كون كسب جهد المكبر مساوياً للوحدة من الدائرة فى شكل ١٤ - ٥ كما يلى . حيث أن الكسب للمكبر التشغيلى نفسه مرتفع جداً ، فيكون قيمة الجهد V_1 بين طرفى الدخل من الناحية الواقعية مساوية للصفر . فيتساوى الجهد عند طرفى الدخل فى هذه الحالة، أى أن

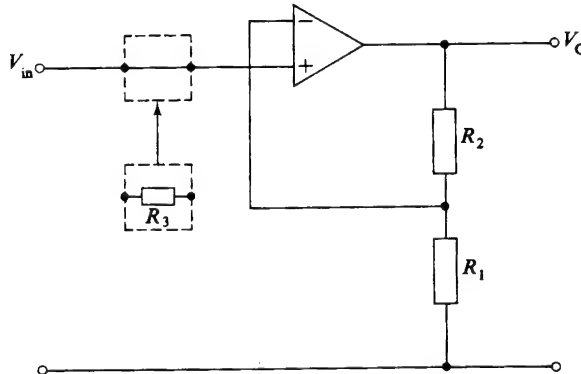
$$V_O/V_{in} = 1 \quad \text{أو} \quad V_O = V_{in}$$

١٤ - ٥ المكبر العاكس

يسلط على الدائرة فى شكل ١٤ - ٦ تغذية مرتدة لجهد سالب وعلى التوالى عن طريق شبكة β المكونة من R_1 و R_2 . وفى هذه الحالة ، تسلط الاشارة على طرف الدخل الغير عاكس فيصبح طور اشارة الخرج الناتجة متفقا مع V_{in} . ويعطى كسب الجهد لهذا المكبر بالتعبير الآتى :

$$A_{vf} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

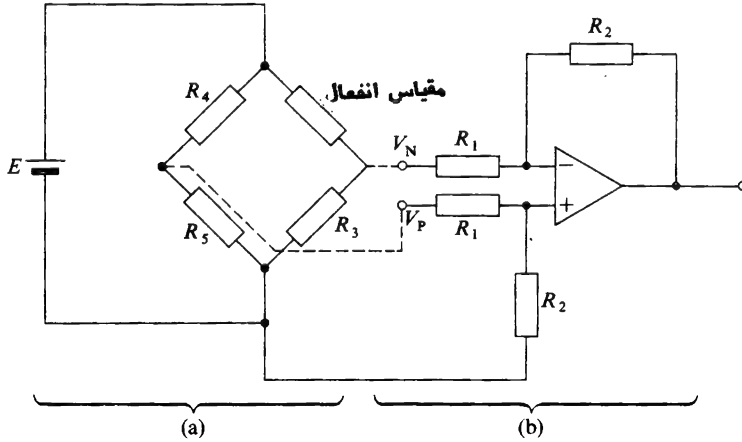
فإذا كانت $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ و $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ ، فإن $A_{vf} = 1 + 10/1 = 11$ ،



شكل ١٤ - ٦ مكبر غير عاكس

١٤-٦ مكبر تفاضلى أو مكبر فرقى

فى بعض التطبيقات ، يكون من اللازم تكبير اشارة صغيرة جدا فى وجود اشارة اخرى كبيرة وغير مرغوب فيها . ومن ضمن التطبيقات المألوفة لهذا النوع من المكبرات قنطرة مقياس الانفعال من النوع الموضح فى شكل ١٤ - ٧ [أ] . مقياس الانفعال هو نبيلة تستخدم لقياس الانفعالات الميكانيكية فى الانشاءات تحت الاختبار ، كما فى الطائرة أو فى الصاروخ .



شكل ١٤ - ٧ [أ] تطبيق مألوف لمكبر تفاضلى و [ب] شكل شائع لدائرة مكبر تفاضلى .

يتكون مقياس الجهد من شبكة ذات أسلاك دقيقة فوق ورقة دعم ملصقة على القطعة تحت الاختبار، ويقاس الانفعال بتحديد التغير فى مقاومة المقياس عند تحميل القطعة ميكانيكيا . ويوصل المقياس بدائرة القنطرة كما فى شكل ١٤ - ٧ [أ] ، وتصبح القنطرة متزنة فى حالة اللاحمل بحيث تتساوى قيمة الجهدين V_N و V_P وعند تسليط حمل ميكانيكى ، تتغير مقاومة مقياس الانفعال وتؤدى الى ظهور جهد فى حدود بضعة وحدات من الملى فولت بين V_N و V_P . وبهذه الطريقة يمكن قياس جهد صغير جدا .

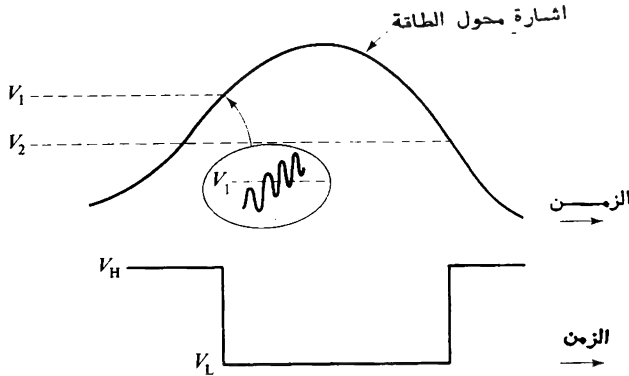
يوضح شكل ١٤ - ٧ [ب] الشكل الشائع للمكبر المستخدم فى هذا النوع من التطبيقات ، وهو يستخدم تغذية مرتدة سالبة على التوازي من الخرج الى الدخل العاكسى . ويكون الدخل الفعال للمكبر هو $V_P - V_N$ ، ويصبح كسب الجهد للمكبر

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{V_O}{V_P - V_N} = \frac{\text{جهد الخرج}}{\text{الفرق بين } V_P \text{ و } V_N} = A_{vf}$$

فإذا كانت $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$ و $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ ، فإن $A_{vf} = 10$

١٤ - ٧ مقارنة الجهد

تختلف الكميات المقاسة لكثير من محولات الطاقة فى الصناعة بمعدل بطيء جدا كما يحدث ، على سبيل المثال ، لاشارة من محول للطاقة يقيس ارتفاع الماء فى خزان كبير . وتدعو الحاجة هنا فى الغالب الى دائرة كهربائية يتغير خرجها بحدّة عندما يصل منسوب هذه الاشارة الى قيمة معينة سبق تحديدها . فالمقارن هو نبطية يتغير جهد خرجها بحدّة من قيمة الى قيمة اخرى عندما يرتفع منسوب الاشارة الى حد معين ، وتعود بحدّة الى قيمتها الاصلية عندما يهبط منسوب اشارة الدخل الى قيمة أقل قليلا ، فاذا سلطت اشارة محمول الطاقة فى شكل ١٤ - ٨ الى المقارن فسرعان ما يتغير جهد خرج المقارن من V_H الى V_L عندما تبلغ اشارة محول الطاقة قيمة تساوى V_1 ، وترد هذه القيمة مرة اخرى الى V_H عندما تهبط قيمة اشارة محول الطاقة الى V_2 ويعرف فرق الجهد $V_1 - V_2$ على منسوب جهد الدخل **بالجهد التخلفي أو بجهد التقويت للمقارن** ، ويتواجد جهد التقويت بالمقارنات الصناعية وذلك للسبب التالى. تحتوى اشارات محولات الطاقة فى الغالب على تشويش

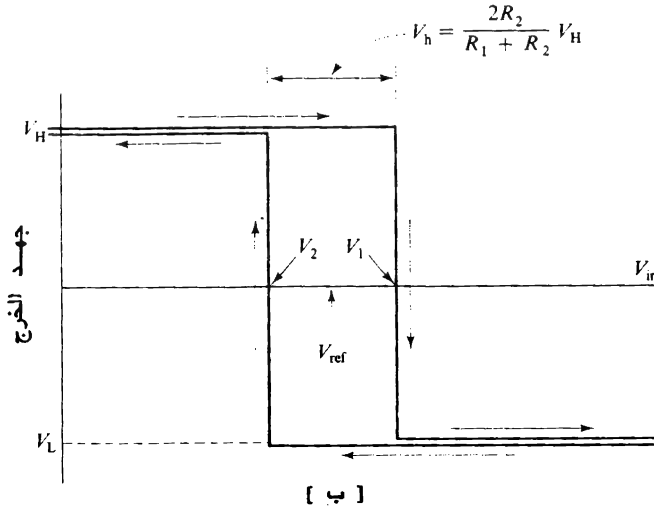
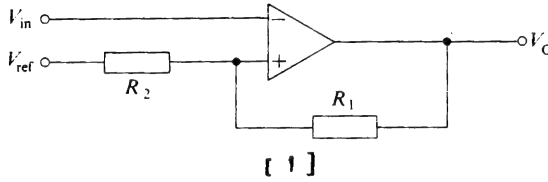


شكل ١٤ - ٨ الاشكال الموجية لدخل وخرج المقارن .

كهربائى من الممكن ان يستحث بواسطة مصادر التيار المتردد بالقرب من محولات الطاقة او بواسطة عمليات القطع والتوصيل فى الاجهزة المجاورة لها . . . الخ . وقد وضع هذا التشويش بالجزء المضمن من شكل ١٤ - ٨ . فان لم يمتلك المحول هذا التقويت ، لادى اى تشويش مركب مع اشارة محول الطاقة الى تذبذب سريع لاشارة خرج المقارن بين V_H و V_L ومع تقويت كاف فى خواص المقارن ، يمنع وقوع هذا التذبذب وتعطى الدائرة درجة من **الحصانة ضد الضوضاء** .

يوضح شكل ١٤ - ٩ [١] احدى صور الاشكال الشائعة للمقارن وهى دائرة شميث للاطلاق . تستخدم هذه الدائرة تغذية مرتدة موجبة عن طريق المقاومة R_1 ، ليس فقط لتحسين سرعة العمليات وانما ايضا لتقدمة التأثير التخلفى . وفى العادة ، تزيد قيمة R_1 كثيرا عن قيمة المقاومة R_2 وتعطى

جهد اطلاق علوى [V_1 فى شكل ١٤ - ٨] اكبر قليلا من الجهد المقارن V_{ref} فى شكل ١٤ - ٩ [١] . ويقل جهد الاطلاق السفلى [V_2 فى شكل ١٤ - ٨] قليلا عن الجهد المقارن V_{ref} .



شكل ١٤ - ٩ دائرة شبيث للاطلاق أو مقارن اعادة توليد الجهد .

يوضح شكل ١٤ - ٩ [ب] المنحنى المميز فى حالة القطبية الموجبة للجهد المقارن . ويتخذ خرج الجهد أقصى قيمة موجبة له V_H ، عندما تقل القيمة المطلقة لجهد الدخل V_{in} عن V_1 ، علما بأن قيمة V_H تعتمد على قيمة جهد مصدر القدرة وعلى المكبر التشغيلى المستخدم . وتؤدى زيادة قيمة الجهد V_{in} عن قيمة الجهد V_1 الى تغير فجائى لجهد الخرج هى أقصى قيمة سالبة له أى V_2 [انظر شكل ١٤ - ٩ [ب]] . ويظل منسوب جهد المقارن عند هذه القيمة طالما ان قيمة اشارة الدخل اكبر من V_1 . وعند انقاص جهد الدخل الى V_2 ، يرتد جهد الخرج فجأة الى قيمته الاصلية V_H مرة اخرى . واذا تساوت قيم كل من V_H و V_L فان قيمة جهد التخلف تعطى كالآتى :

$$V_h = V_1 - V_2 \simeq 2R_2 V_H / (R_1 + R_2)$$

وهكذا ، اذا كان $V_H = 10 \text{ V}$ و $R_1 = 9.9 \text{ k}\Omega$ و $R_2 = 0.1 \text{ k}\Omega$ فان

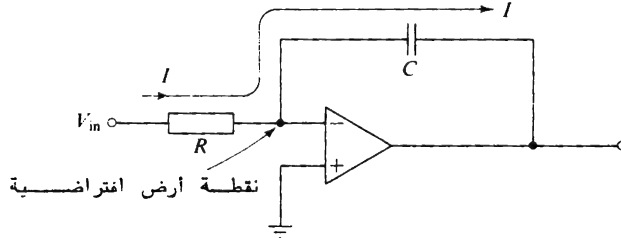
$$V_h = 2 \times 0.1 \times 10 / (9.9 + 0.1) = 0.2 \text{ V}$$

١٤-٨ دوائر التكامل الالكترونية

لقد سبق وصف الوظيفة التي تؤديها الدائرة التكاملية فى الفصل الثالث .
وسيكون من الملائم للقارئ أن نعيد هنا هذا الوصف .

فى الدائرة المكاملة ، تتناسب القيمة اللحظية لمعدل تغير اشارة الخرج
من المكامل مع سعة اشارة الدخل .

لنأخذ فى الاعتبار عمل الدائرة فى شكل ١٤ - ١٠ . فى هذه الدائرة ،
تسلط تغذية مرتدة سالبة من الخرج الى طرف الدخل العاكسى عن طريق
المكثف C .



شكل ١٤ - ١٠ دائرة تكاملية الكترونية

وبما أن طرف الدخل العاكسى يعتبر نقطة أرضية افتراضية ، فإن كل التيار
المنساب فى مقاومة الدخل R يجب أن يمر ايضا خلال المكثف C . فإذا
اتخذ الجهد V_{in} قيمة ثابتة ، فإن $I = V_{in}/R$ ، ويتخذ ايضا قيمة ثابتة .
ومما سبق عرضه فى الفصل الثالث عن المكثف . سيتذكر القارئ أن

تيار المكثف = $C \times$ معدل تغير جهد المكثف

ومن ثم فإن

$$I = \frac{V_{in}}{R} = C \times \text{معدل تغير جهد المكثف}$$

وهكذا يصبح

$$\frac{V_{in}}{RC} = \text{معدل تغير جهد المكثف}$$

وحيث أن من المفروض أن يكون لوح المكثف عند جهد الأرض ، فإن معدل
تغير الجهد بين طرفى المكثف يساوى معدل جهد الخرج . لذا فإن

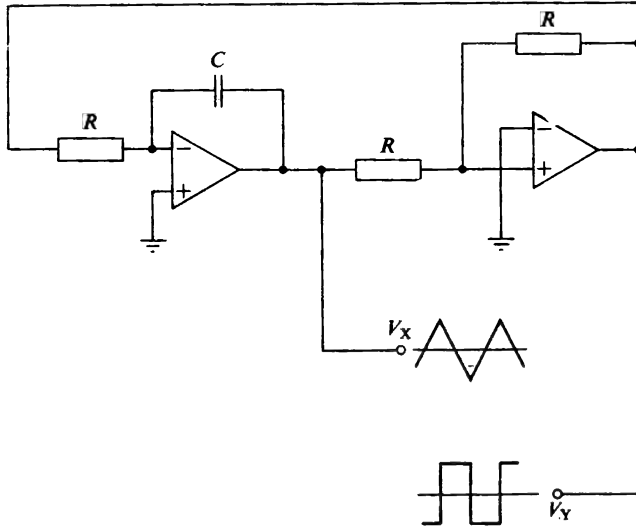
$$\frac{V_{in}}{RC} = \text{معدل تغير جهد الخرج}$$

وتلَى العلاقة السابقة أنه إذا كانت قيمة V_{in} ثابتة ، فإن V_o يتغير
بمعدل ثابت . وبمقارنة هذه العبارة بوصف الوظيفة التى يؤديها المكامل ،
نرى أن الدائرة فى شكل ١٤ - ١٠ تؤدي وظيفة المكامل .

وحيث ان الإشارة تسلط على طرفى الدخل العاكسى ، فانه اذا اتخذ الجهد V_{in} قطبية موجبة ، تصبح قطبية V_o بصفة تدريجية اكثر سلبية . اما اذا اتخذ الجهد V_{in} قطبية سالبة ، فان قطبية V_o تصبح بصفة تدريجية اكثر ايجابية .

ومن ضمن سمات الدائرة الكاملة وهى انه اذا انقص جهد الدخل فجأة الى الصفر ، فانه تبعا للوصف السابق للمكامل ينقص معدل تغير جهد الخرج ايضا الى الصفر . بمعنى أن جهد الخرج قد ربط على قيمة ثابتة طالما ظلت قيمة جهد الدخل عند الصفر . ومن الممكن تحقيق الحالة المثالية السابقة فقط اذا لم تتسرب الشحنة بعيدة عن المكثف . ولنع هذا من الحدوث ، يجب ان تكون المقاومة الداخلية للمكبر التشغيلى مرتفعة جدا ، وانه لن أجل هذا السبب ، يفضل المكبر التشغيلى الذى يستخدم عند الدخل ترانزستور التأثير الجالى (FET) عن النبائط الاخرى التى تستعمل ، عند الدخل ، وحدات ترانزستور ثنائية القطب ، مثل المكبر التشغيلى 741 [انظر الجدول ٤ - ١ والمناقشة المصاحبة له] .

تستخدم المكاملات بكثرة فى نظم الالكترونية التى تولد انواعا خاصة من الاشكال الموجية لغرض اختيار المعدات . ويوضح شكل ١٤ - ١١ تطبيقا من هذا النوع . اذ يسلط فى هذه الحالة جهد الخرج V_x من مكامل من هذا النوع السابق وصفه الى مقارن الجهد . وتقارن ترتيبية التغذية المرتدة فى الدائرة



شكل ١٤ - ١١ مضرب ليه القدرة لتوليد كل من الموجة المربعة والموجة المنخفضة .

الاخيرة قيمة V_x عند مدخل المقارن مع جهد خرج المقارن V_y . وعندما تكون قطبية V_y سالبة تؤول قطبية جهد الخرج المكامل ، بصفة منتظمة الى ان تصبح اكثر ايجابية . ويستمر الارتفاع فى هذا الجهد طالما قلت قيمة V_x عند قيمة V_y . وعندما تزيد قيمة V_x قليلا عن قيمة V_y تصبح قطبية جهد الخرج المقارن فجأة موجبة . ويؤدى هذا الى أن يبدأ جهد الخرج من دائرة

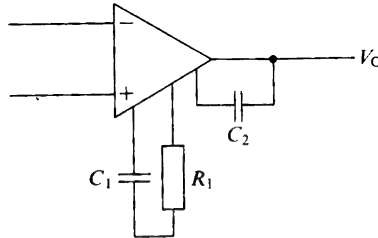
المكامل فى الانخفاض ، محظيا ، بمعدل ثابت حتى تصبح فى النهاية سالبة . مرة أخرى ، عندما تزيد قيمة جهد الخرج من المكامل قليلا عن قيمة V_Y ، فان قطبية جهد المقارن تتعكس بحده مرة أخرى . تستمر هذه العملية بدون حدود لتعطى شكلا موجبا مثلثا عند الخرج V_X وشكلا موجبا سريعا عند V_Y

وتستخدم المذبذبات من النوع الموضح سابقا لتوليد اشارات فى المدى الترددى من دورة واحدة لكل بضعة دقائق حوالى 1 MHz . وباستخدام دائرة الكترونية . يمكن تحويل الموجة المثلثة التى ما يكاد يقترب من الموجة الجيبية المثالية .

١٤ - ٩ معادلة التردد للمكبرات التشغيلية

لقد تم تصميم الدوائر التى وضعت حتى الان وفى اذهاننا المكبر التشغيلى الاساسى 741 . ولهذا النوع من المكبرات بعض اوجه القصور ، ولهذا السبب تستعمل بالمثل انواع أخرى من المكبرات التشغيلية ، وفى بعض الاحيان ، قد يتذبذب جهد الخرج من هذه المكبرات مالم توصل اليها دوائر المعادلة [او تعويض] التردد لهذه المكبرات . وان لمن وظيفة هذه الدوائر مع التغذية المرتدة الموجبة من ان تسلط دون قصد عند ترددات التشغيل العالية .

وتبنى دوائر معادلة التردد فى الدائرة التكاملية لمكبر التشغيل 741 ولا تدعو الحاجة لاي مكونات خارجية . ويوضح شكل ١٤ - ١٢ العناصر المعتادة لتعويض التردد والمستخدم مع الانواع الاخرى للمكبرات التشغيلية .



شكل ١٤ - ١٢ محاولة التردد للمكبرات التشغيلية .

هذا وتدعو الحاجة المكثف C_1 والمقاومة R_1 لمعادلة التردد عند نقطة مبكرة للمكبر ويهيم المكثف C_2 تعويضا للتردد من الخرج . وتقع قيم C_1 و R_1 عادة فى المدى من 10 pF الى 10 nF ومن صفر الى 1.5 kΩ ، على الترتيب ، وتقع قيمة المكثف C_2 فى المدى من 3 pF الى 200 pF . ويجب الاطلاع على ما يصدر عن المصنعين لهذه النماذج عند تنفيذ دوائر باستخدام المكبرات التشغيلية التى تحتاج الى معادلة التردد .

الفصل الخامس عشر

مصادر القدرة ثابتة الجهد والإلكترونيات القوى الكهربائية

فى هذا الفصل ، سيقابل القارئ حدى احتياجات نظم القوى الكهربائية التى تتراوح من الدوائر التى تعطى مصادر ذات درجة استقرار مرتفعة وتيار فى حدود بضعة من وحدات الميلى أمبير الى النظم المتينة للقوى الكهربائية العالية والتى لديها امكانيات للتعامل مع قدرات تصل الى عدة وحدات من الميجاوات .

١٥ - ١ الحاجة الى مصادر قدرة ذات جهد ثابت :

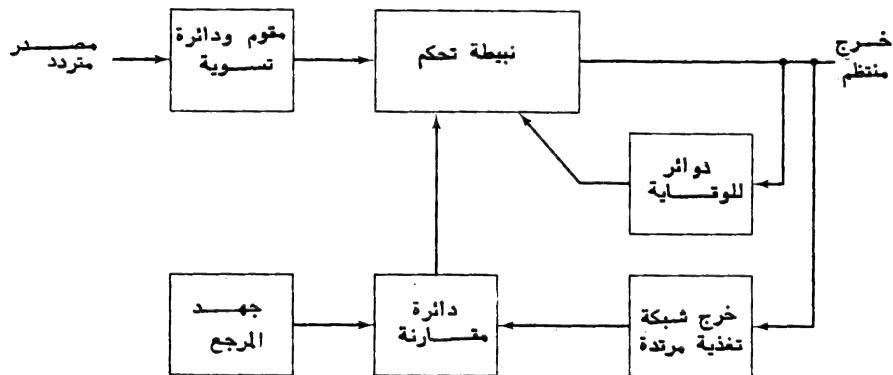
مصدر القدرة ثابت الجهد هو المصدر الذى يعطى خرجا ثابتا [عادة فولت] بدون تموجات ، والذى لا يتغير خرجة عند تغير جهد المصدر فى مدى يبلغ حوالى $\pm 10\%$. ويجب أن لا يعتمد خرجة ايضا على التغير فى مقاومة الحمل على مدى قيم الحمل العادية للمعدات . وعلاوة على ذلك ، تتضمن مصادر قدرة كثيرة اجهزة الكترونية للوقاية من تجاوز التيار والتى تستجيب فى حدود عدد قليل من وحدات الميكروثانية من حدوث العطل ، كما تحتوى أيضا على دوائر تمنع الجهد من التسلط على الحمل الموصل . وهذه الدوائر التى ذكرت تعتبر هامة اذا احتوى الحمل دوائر تكاملية .

وكمثال لاستخدام مصدر القدرة ثابت الجهد ، ينبغى أن يظل مصدر التغذية الى بعض اجزاء اجهزة التليفزيون الملون ثابت الجهد ، والا أدت التغيرات فى مصدر الجهد الى تغير فى الوان الصورة . وتستخدم مصادر القدرة ثابتة الجهد ايضا بكثرة فى الاجهزة العملية الالكترونية .

١٥ - ٢ فكرة عمل منظم التوالى للجهد

يوضح شكل ١٥ - ١ الشكل التخطيطى الاجمالى لمراحل منظم التوالى الذى يعتبر اكثر صور منظم الجهد الالكترونى شيوعا . فى هذه الدائرة ، يقوم أولا المصدر المتردد ويسوى قبل تسليطه على نبيلة التحكم والحمل .

وتشارك نبضية التحكم [التى تكون عادة من الترانزستور] والحمل ، مصدر التيار المستمر المسوى مع بعضهما البعض ، وتعمل نبضية التحكم بطريقة معينة بحيث تحافظ على الجهد ثابتا بين طرفى الحمل . وتعمل هذه النبضية بالطريقة الآتية : حيث أن نبضية التحكم تشارك الحمل بالنسبة لمصدر الجهد،



شكل ١٥ - ١ شكل تخطيطى لمراحل منظم توالى

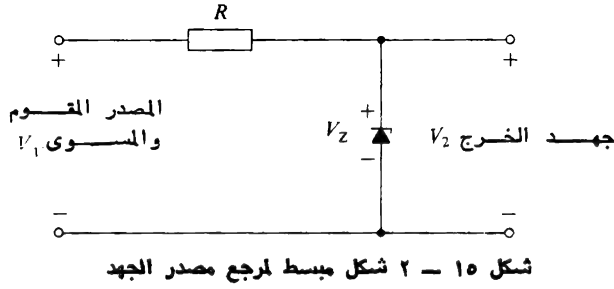
لذا فانه من الممكن عمل ترتيبية يتسنى لنبضية التحكم أن يتغير جهدها لتمتص أية تغيرات فى مصدر الجهد . بمعنى أن ، تؤدي زيادة مصدر الجهد الى زيادة فرق الجهد بين طرفى نبضية التحكم ، بحيث لا يتغير الجهد المسلط على الحمل . وبالمثل ، ينتج عن انخفاض مصدر الجهد انخفاضا مناظرا فى فرق الجهد بين طرفى عنصر التحكم ، ليترك الجهد بين طرفى عنصر التحكم ، ليترك الجهد بين طرفى الحمل ثابتا لا يتغير مرة أخرى .

ومن الواضح أن الجهد بين طرفى الحمل يظل ثابتا على مدى واسع لتغيرات مصدر الجهد . وبالمثل ، إذا تغيرت قيمة مقاومة الحمل ، فإن الجهد بين طرفى نبضية التحكم يتغير أيضا وبسرعة للحفاظ على جهد الحمل ثابتا . سنتناقش فيما يلى الأجزاء المختلفة للرسم التخطيطى للمراحل فى شكل ١٥ - ١ .

١٥ - ٣ مرجع لمصدر الجهد

يوضح شكل ١٥ - ٢ دائرة شائعة تستخدم كمرجع لمصدر الجهد . وهى تتكون من دايود زينار مع توصيل الكاثود للقطب الموجب لمصدر القدرة الغير ثابت الجهد عن طريق المقاومة R . وتزيد قيمة مصدر الجهد V_1 عن جهد الانهيار V_Z لدايود زينار ، ويظهر فرق الجهد بين V_1 و V_Z [يساوى $V_1 - V_Z$] بين طرفى المقاومة R .

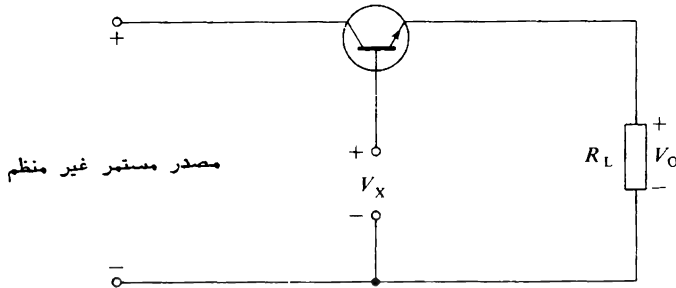
ومن الضروري أن لاتبدى وحدات الدايود ، التى تختار لمال هذا النوع من التطبيقات، أى تغير فعلى لجهد الانهيار مع درجة الحرارة . وتساوى قيمة خرج



الجهد من هذه الدائرة ، قيمة جهد الانهيار للدايود زينار، أى أن $V_2 = V_Z$. فإذا تغيرت قيمة جهد المصدر V_1 ، فإن فرق الجهد بين طرفى المقاومة R يتغير لمعادلة التغير ، ويظل جهد الخرج ثابتا .

١٥ - ٤ نبيلة التحكم الموصلة على التوالي

ان أساس منظم التوالي هو تابع الباعث فى شكل ١٥ - ٣ . فلاشارة V_X المسطرة على قاعدة الترانزستور هى الخرج من مرجع لمصدر الجهد يشبه المرجع الموضح فى شكل ١٥ - ٢ . وطبقا لما تم توضيحه فى الفصل الثالث عشر ،

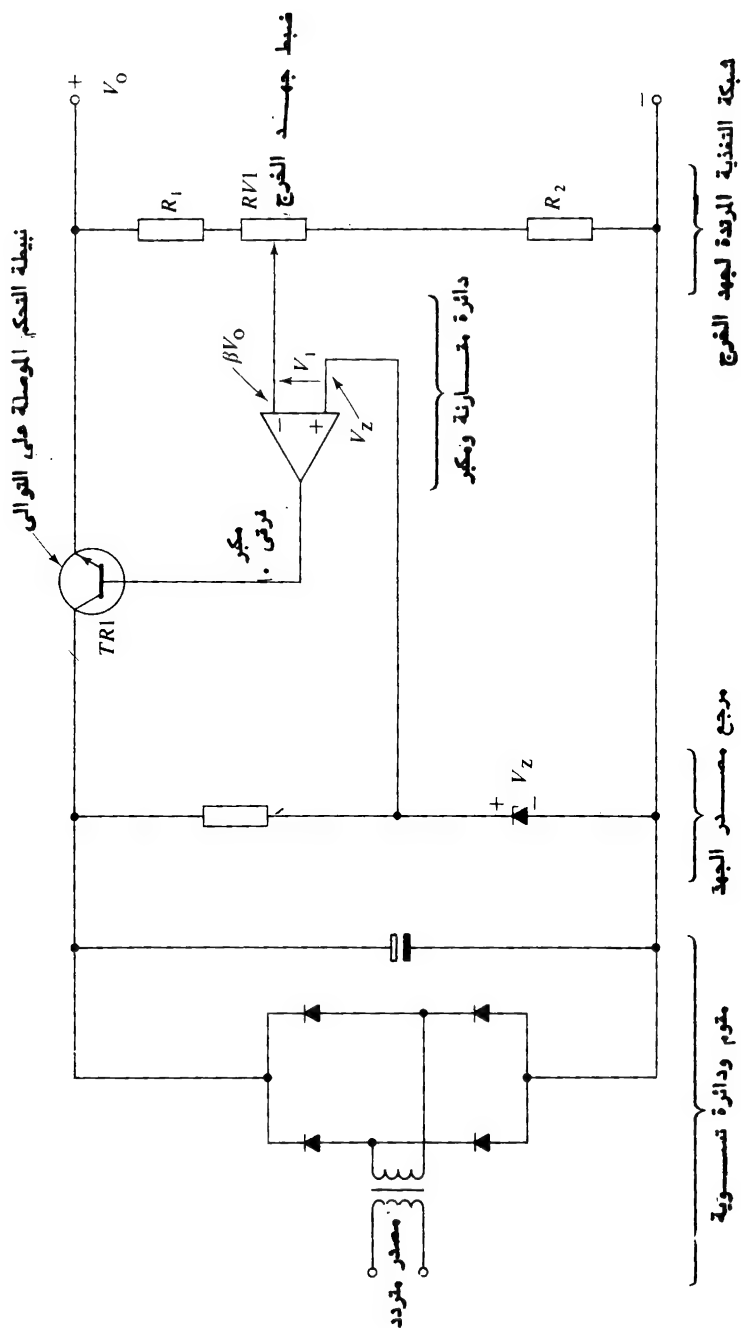


شكل ١٥ - ٢ صورة اساسية لدائرة متحكمية على التوالي .

سيذكر القارئ أن قيمة جهد الخرج V_O طبقا لعمل تابع الباعث تقل بمجرد قيمة قليلة عن قيمة V_X . وهكذا ، بالنظر الى أن قيمة V_X ثابتة ومستقرة فإن جهد الخرج يظل ثابتا ومستقرا بالمثل .

١٥ - ٥ منظم جهد موصل على التوالي

يوضح شكل ١٥ - ٤ احدى صور المنظمات الموصلة على التوالي ، وسيتعرف القارئ من هذا الشكل على المقوم ودائرة التسوية، ومرجع مصدر الجهد ونبطية التحكم الموصلة على التوالي - وتكون شبكة خرج التغذية



شكل ١٥ - ٤ إحدى صور منظم التوالي

المرتدة | انظر ايضا شكل | ١٥ - ١ | فى الدائرة من شبكة المقاومة التى تحتوى R_1 و R_2 و RV وتستخدم المقاومة RV لضبط قيمة جهد الخرج . ويسلط جهد الخرج V_0 وجهد المرجع V_Z الى دخلى المكبر الفرقى | انظر ايضا الجزء ١٤ - ٦ من الفصل الرابع عشر | ، والذى يتناسب خرجة مع فرق الجهد بين جهدى الدخل اى $V_0 - \beta V_Z$.

والجهد عند منزلق مقياس الجهد RV عبارة عن جزء β من جهد الخرج اى βV_0 . فاذا كان كسب المكبر الفرقى مرتفعاً لحد كبير فان قيمة الجهد V_1 بين طرفى المكبر الفرقى يصبح صغيراً جداً . اى أن

$$\beta V_0 = V_Z$$

$$V_0 = V_Z / \beta$$

وعلى سبيل المثال ، اذا كانت $V_Z = 5$ و $\beta = 0.4$ فان $V_0 = 5/0.4 = 12.5$. فاذا تحرك منزلق مقياس الجهد فى اتجاه خط الخرج الموجب بحيث $\beta = 0.5$ ، فان قيمة جهد الخرج الجديد هى $V_0 = 5/0.5 = 10$. ومن الممكن ان تكون المقاومة المتغيرة RV اما مفرق سبق ضبطه او . فى حالة الاجهزة العملية للاغراض العامة ، يكون مقياس الجهد مقبض تحكم على اللوحة الامامية للجهاز .

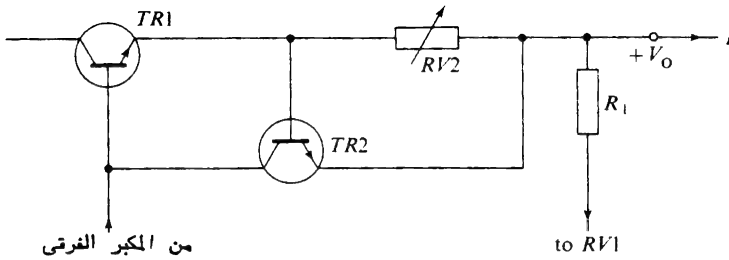
تنظم الدائرة الموضحة جهد خرجها تلقاء تغيرات جهد المصدر كما يلى : اذا زادت قيمة جهد المصدر ، فان جهد الخرج يميل الى الزيادة ، ومعه يتناقص الجهد الاجمالى عند دخل المكبر الفرقى | تذكر ان $V_1 = V_Z - \beta V_0$ | . ويؤدى هذا التأثير الى نقص جهد الخرج من المكبر الفرقى والذى : طبقاً لتأثير تابع الباعث ، يؤدى الى انخفاض جهد الخرج من منظم التوالى الى قيمة تختلف اختلافاً قليلاً عن قيمتها الاصلية .

١٥ - ٦ منظمات التوالى للوقاية من تجاوز التيار

وتجاوز الجهد عند الخرج

من الممكن ان تستخدم دائرة الوقاية من تجاوز التيار المبينة فى شكل ١٥ - ٥ بالانلاف مع منظم التوالى المبين فى شكل ١٥ - ٤ حيث ترجع المكونات $TR1$ و R_1 فى شكل ١٥ - ٥ الى المكونات المناظرة فى شكل ١٥ - ٤ ونهىء المكونات الاضافية $TR2$ و $RV2$ وقاية من تجاوز التيار . وتعمل الدائرة كما يلى : عند الاستخدام ، تضبط القيمة $RV2$ بحيث لا تكفى قيمة فرق الجهد بين طرفيها ، عند القيم العادية لتيار ، لتجعل الترانزستور $TR2$ موصلاً .

فى حالات الحمل الزائد ، يصبح فرق الجهد بين طرفى $RV2$ على درجة من الزيادة التى تكفى لبدء توصيل $TR2$ وذلك عندما يحول $TR2$ بعض التيار من خرج المكبر الفرقى بعيداً عن قاعدة $TR1$. وهذا يؤدى الى انخفاض قيمة تيار المجمع $TR1$ الذى يقلل من قيمة تيار الحمل الى مستوى

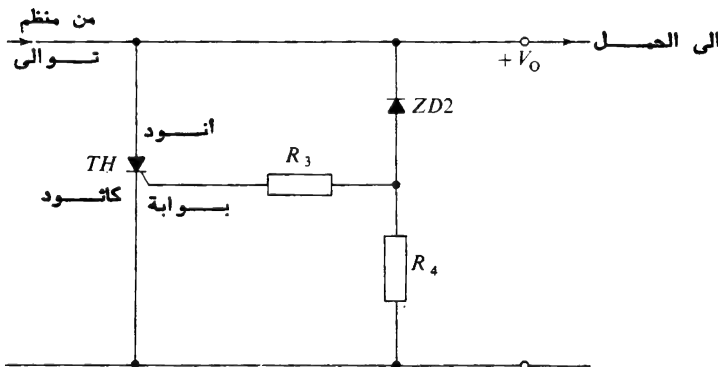


شكل ١٥ - ٥ احدى الطرق لاستخدام الوقاية من تجاوز التيار .

آمن . فزيادة قيمة المقاومة $RV2$ تقلل من قيمة تيار الحمل الذى يبدأ عنده الحد من التيار أى أنه عندما تكون قيمة RV كبيرة ، فان تيار الحمل يحد الى قيمة منخفضة .

وتتعرض نظم منطقية كثيرة للتلف اذا ارتفع مصدر جهداها عن قيمة معينة . فمن اللازم ان تتضمن مصادر القدرة المستخدمة مع هذه الانواع وسيلة لمنع جهد الخرج من الارتفاع عن حد الامان ، أى انها يجب ان تتضمن وقاية من تجاوز الجهد عند الخرج .

ويوضح شكل ١٥ - ٦ طريقة بسيطة لتوفير هذا النوع من الوقاية . ففى هذه الدائرة وعند ظهور تجاوز للجهد بين طرفى الخرج ، يسلط « مخل » (crowbar) الكترونى بين خطوط الخرج ، ويؤدى هذا الى تسليط دائرة قصر على خرج المنظم بصفة لحظية . ويوصف هذا النوع من الوقاية بالوقاية المخلية من تزايد الجهد ويحد من التيار المناسب فى دائرة القصر اما بواسطة الوقاية الحدية للتيار والموضحة سابقا او بواسطة انصهار مصهر المصدر او بتشغيل قاطع التيار حيث يوضع . ولا يستخدم هذا النوع من الوقاية مع نظم الدوائر التكاملية فحسب ولكنه يستخدم ايضا بكثرة مع مصادر كثيرة للقدرة ذات الجهد الثابت فى أجهزة استقبال التلفزيون الملون



شكل ١٥ - ٦ نوع مبسط للوقاية المخلية من تجاوز الجهد

وتحتوى الدائرة على نببطة تعرف باسم الثايرستور ، وهى موضحة مع الرمز TH فى شكل ٥ - ٦ ، وستوصف بالتفصيل فى الجزء ١٥ - ٧ من هذا الفصل . ومن اجل تلبية احتياجات الغرض من هذا الجزء من الكتاب ، سيعطى شرح موجز هنا . فالثايرستور هو نببطة تشبه الداىود لها ثلاث اقطاب، [الكترود] هى بالاسم الانود والكاثود والبوابة . وتؤدى منطقتى الانود والكاثود وظائف منطقتى الداىود المتماثلتين . هذا ويختلف الثايرستور عن الداىود فى ان الثايرستور لا يستطيع التوصيل ، حتى ولو كان الانود موجبا بالنسبة الى الكاثود ، الى ان يدفع تيار فى منطقة البوابة للنببطة . فطالما يوصل الثايرستور فانه يعمل كداىود عادى ، اى ان التيار ينساب خلاله طالما ان الانود موجبا بالنسبة الى الكاثود .

وتعمل دائرة الوقاية من تجاوز الجهد والموضحة فى شكل ١٥ - ٦ كمايلى يحدد مستوى الاعناق للدائرة بواسطة جهد الانهيار لداىود زينار ZD2 فعندما يزيد جهد الخرج من المنظم عن جهد الانهيار لداىود زينار ZD2 ينساب التيار خلال مقاومة تحديد التيار R_3 وخلال بوابة TH . ويؤدى هذا الى دائرة الثايرستور TH لحالة من التوصيل وتسليط دائرة قصر على اطراف خرج المنظم .

١٥ - ٧ وحدات الثايرستور

كما ذكر سابقا ، فان وحدات الثايرستور هى بالاساس نبائط شبيهه للداىود ولها الكترود تحكم اضافى . وقبل تسليط جهد على الكترود التحكم [البوابة] ، فان الثايرستور يعمل بطريقة مماثلة لمفتاح فى وضع الغلق ، ولا يمر خلاله اى تيار . وعند تسليط جهد بالقطبية الصحيحة [ستناقش القطبية الفعلية بعد ذلك فى هذا الجزء] على طرف البواب ، فان النببطة تعمل كداىود [يوجد هناك تغيرات طفيفة بالنسبة لهذا المطلب وستناقش فيما بعد . وقد صيغ اسم ثايرستور من حقيقة أنه يعمل مثل الثايراترون من مادة من اشباه الموصلات [الثايروترون هو صمام مملوء بالغاز يستعمل تقريبا لنفس الاغراض التى يستعمل فيها الثايرستور] . هذا وقد عرف نوع الثايرستور المستخدم فى شكل ١٥ - ٦ فى الماضى بالموحد السليكونى المحكوم أو SCR ، وهو الاسم التجارى .

توجد طائفتان شاملتان للثايرستور ، هما الثايرستور عكسى الاعاقة والثايرستور ثنائى الاتجاه . وللسهولة، سيرجع الى النوع الاول كالثايرستور والى النوع الثانى كالترايك .

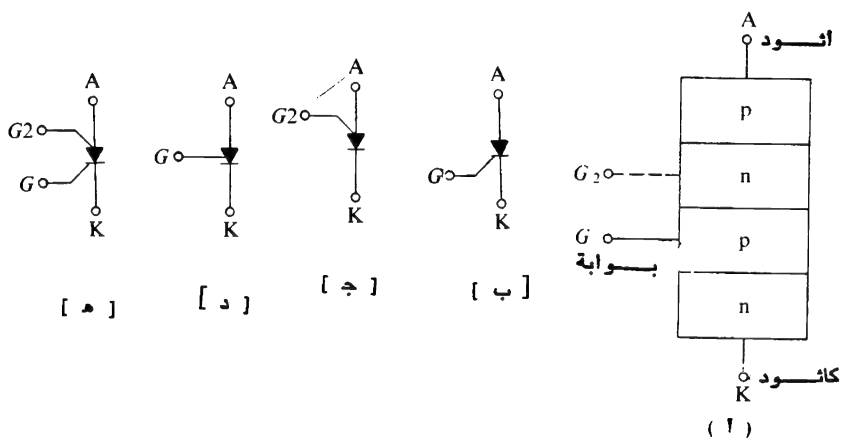
١٥ - ٨ الثايرستور عكسى الاعاقة

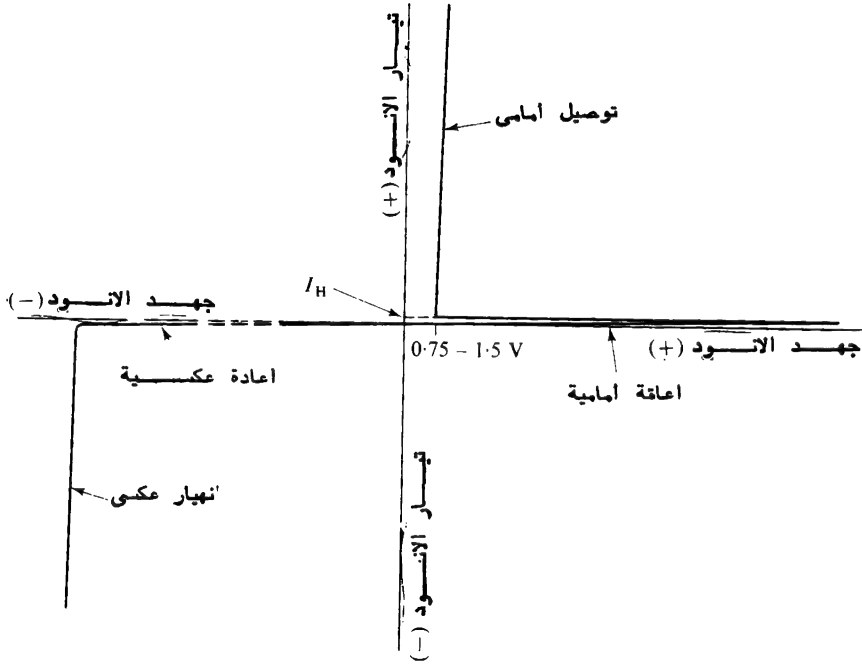
الثايرستور هنا هو نببطة من مادة شبه موصلة تحتوى على اربع طبقات موضحة فى شكل ١٥ - ٧ [١ ، حيث يتصل الانود والكاثود بنهايتى كل من المنطقة نوع م والمنطقة س على الترتيب . وتستخدم منطقة م المتوسطة

فى الثايرستور العادى كمنطقة البوابة G وقد وضع رمز الدائرة فى هذه الحالة بالشكل (b) وتستخدم نبائط اخرى منطقة سى المتوسطة G2 ، كبوابة التحكم [انظر الترانزستور احدى التوصيل القابل للبرمجة (PUT) فى الفصل التاسع] وقد وضع رمز الدائرة بالشكل (C) . تعرف البوابات G و G2 فى بعض الاحيان ببوابة الكاثود وبوابة الانود ، على الترتيب ، حيث ان منطقتى التحكم هاتين ، قريبتان من منطقتى الكاثود والانود . ويستخدم الرمز فى شكل (d) ايضا ليمثل وحدات الثايرستور . ومع ذلك ففى نوع آخر من الثايرستور ، يعرف بالمفتاح السليكونى المحكوم ، تهبأ منطقتى البوابات لاغراض التحكم ، وقد وضع رمز الدائرة فى هذه الحالة بالشكل [هـ] . وحتى الان ، فان نبطية بوابة الكاثود ، شكل ١٥ - ٧ [ب] ، هى أكثر انواع الثايرستور شيوعا ، وسنوضح فكرة عملها كما يلى :

تشابه الخواص الاساسية لجميع وحدات الثايرستور عكسية الاعاقة ما هو موضح فى شكل ١٥ - ٧ [و] . ففى الرسم ، يحدد الاتجاه الموجب عندما ينساب التيار الى دخل الانود . ولتأخذ فى الاعتبار أولا عمل النبطية عندما تساوى قيمة الجهد المسلط على البوابة الصفر . فعندما يكون أنبود الثايرستور سالبا بالنسبة الى الكاثود ، لا يسمح الثايرستور بانسياب التيار خلاله [ونقول « يعوق » انسياب التيار] ، انما التيار المار خلاله هو تيار التسرب فقط ، وتبلغ قيمته حوالى $200 \mu A$. لنبطية معدلها $1 A$ وحوالى $5mA$ لنبطية معدلها $10A$. وعندما يكون الانود سالبا ، نقول ان الثايرستور يعمل على الاسلوب عكسي الاعاقة . فاذا زاد الجهد العكاسكى المسلط على الثايرستور تدريجيا نصل الى النقطة التى يحدث عندها انهيار عكسي ويزداد التيار خلال الثايرستور بسرعة بالغة . وما لم يحد من قيمة التيار بعد حدوث الانهيار العكسي فان درجة حرارة الثايرستور تبدأ فى الزيادة كنتيجة للقدرة المتولدة من النبطية . وفى غالبية الحالات ، يؤدى هذا الى تلف الثايرستور .

سيوجه انتباه القارئ الان الى عمل الثايرستور فى الربع الاول من الخواص [عندما يكون الانود موجبا بالنسبة الى الكاثود] . هنا ، وعندما تبلغ قيمة جهد البوابة الصفر وفى حدود الجهد المقتن للثايرستور ، فان





[و]

شكل ١٥ - ٧ الثايرستور [ا] التركيب [ب] و [ج] و [د] الرموز الاصطلاحية للدائرة و [د] خواص الانود التكنيدية

الثايرستور يمنع أنسياب التيار مرة أخرى ، وفى هذه المرحلة من التشغيل ، يقال ان الثايرستور يعمل على اسلوب الاعاقة الامامى من التشغيل .

ويمكن توصيله من هذه الحالة الى أسلوب توصيلها الامامى :

[ا] بتسليط اشارة على البوابة تجعل منطقة البوابة موجبة بالنسبة الى الكاثود أو ،

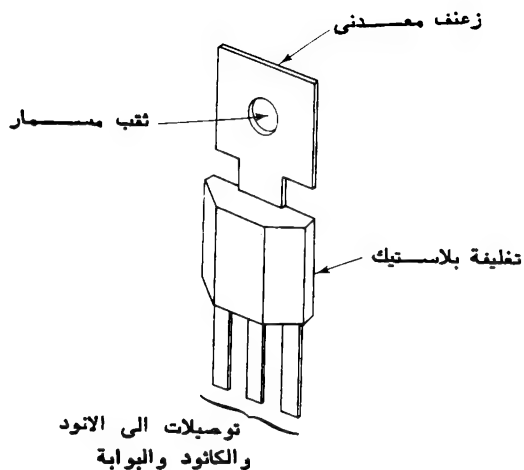
[ب] بزيادة جهد الانود الى النقطة التى يحدث عندها انهيار امامى . والطريقة [ا] السابقة هى الطريقة المعتادة لوصل الثايرستور . وقد تأخذ اشارة البوابة المستخدمة لوصل الثايرستور شكلا واحدا من الاشكال التى تتضمن (i) جهدا مستمرا أو (ii) جهدا معوقا من تيار متردد . أو (iii) نبضة قصيرة بمدة بقاء حوالى بضعة وحدات من الميكروثانية . وتفضل الطريقة (iii) لعدة أسباب ستناقش فيما بعد .

هذا بمجرد انطلاق الثايرستور الى حالة التوصيل الامامى له ، يهبط الجهد بين طرفيه الى قيمة منخفضة نسبيا ، وتبلغ القيمة النمطية لهذا الجهد حوالى 0.75 — 1.5 V عند التيار المقنن . وهكذا ، وعند الحمل الكامل ،

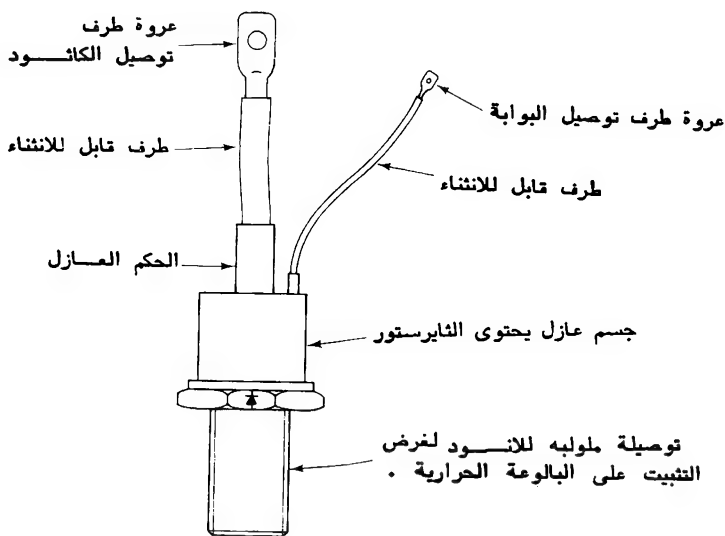
يحدد ثايرستور بتقنين واحد أمبير حوالى 1 W ويحدد ثايرستور بتقنين 100 A حوالى 100 W . ومن الواضح أنه بالنسبة للأحجام الكبيرة يلزم تركيب الثايرستور على بالوعة حرارية والتي يمكن تبريدها بالمروحة ، ان تطلب الامر ذلك وبمجرد ان يصبح الثايرستور فى حالة التوصيل الامامى ، تفقد اشارة البوابة قدرة التحكم فى الثايرستور وقد ينخفض جهد البوابة الى الصفر . وعلاوة على ذلك فانه بمجرد ان يصبح الثايرستور موصلًا ، فانه يستمر فى التوصيل ، طالما استمر الانود موجبا بالنسبة الى الكاثود . ويقفل الثايرستور باقلال تيار الانود الى ما دون قيمة تعرف باسم التيار القابض [انظر شكل ١٥ - و] وتبلغ قيمة هذا التيار حوالى $2\text{--}5\text{ mA}$ بالنسبة الى نبطية بتقنين 1 A وحوالى 1 mA بالنسبة الى نبطية بتقنين 15 A . ولاقلال قيمة تيار الانود الى هذه القيمة ، ينقص جهد الانود الى قيمة الصفر او يجعل سالبا .

مما سبق ، لا يستلزم الامر سوى تسليط اشارة على منطقة البوابة لمدة بضعة وحدات من الميكروثانية لوصل الثايرستور ON . ولهذا السبب تتضمن الانواع الشائعة لدائرة بوابة التحكم مولدات نبضات ، حيث قد وضح فى الفصل الثالث عشر من قبل نوعان ملائمان منها وستوصف انواع اخرى منها فيما بعد فى هذا الفصل . وهناك سبب وجيه آخر لتفضيل استخدام مولد نبضات عن اشارة بوابة مستمرة وهو ان القيمة المتوسطة للقدرة المدفوعة الى داخل منطقة البوابة مولد النبضات تعتبر فى واقع الامر صغيرة جدا وهذا عائد الى تسليط نبضة البوابة لمدة صغيرة جدا من الزمن . وهناك سبب ثالث لاستخدام اشارة بوابة نبضية يتمثل فى ان القيمة المسموح بها لتيار الذى قد يدفع الى داخل البوابة خلال فترة الوصل (ON) . تزيد كثيرا عما اذا ما تم تسليط جهد ثابت وتؤدى القيمة المرتفعة لتيار البوابة الى وصل الثايرستور (ON) بسرعة أكثر عنها فى حالة تيار بوابة اقل . ويؤدى هذا بدوره الى الاقلال من القدرة المبددة فى الثايرستور خلال فترة الوصل (ON) .

وبصفة عامة ، يوصف الثايرستور على أنه نبطية ذات قدرة منخفضة عندما يكون مقنن تياره اقل من حوالى 5 A ويوصف على أنه نبطية ذات قدرة متوسطة اذا كان مدى مقنن التيار محصورا بين 5 A و 50 A ولوحدات الثايرستور مرتفعة القدرة مقننات للتيار تزيد عن حوالى 50 A . ولا يعتمد نوع التغليف المستعمل للثايرستور على مقنن التيار فحسب ، بل يعتمد ايضا على طبيعة الاستخدامات . وتستكن وحدات الثايرستور بتقنين حوالى 1 A فى علب صغيرة TO-5 او فى تغليفة من البلاستيك كما وضح فى الفصل التاسع [انظر شكل ٩ - ٢ . هذا وتستكن بعض نبائط الثايرستور المنخفضة والمتوسطة القدرة [بتقنين من 10 A - 5 A] فى تغليفه [كبسولة] بلاستيك مماثلة لتلك الموضحة فى شكل ١٥ - ٨ [١] والتي تمتلك بالوعة حرارية بسيطة على شكل زعنفة بارز ويمكن أن يستخدم الزعنفة لربطه مع بالوعة حرارية اكبر .



[١]



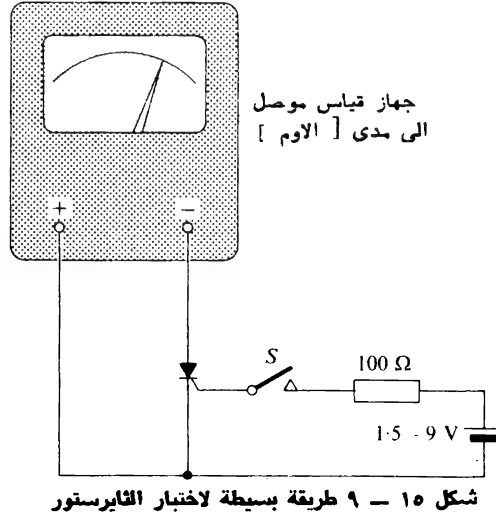
(ب)

شكل ١٥ - ٨ نوعان من تجميعات الثايرستور

وتتخذ كثير من وحدات ثايرستور القدرة المتوسطة والقدرة العالية أشكالاً مماثلة ما هو موضح في شكل ١٥ - ٨ [ب] ، حيث يعتبر المسمار المستخدم لتثبيت الثايرستور مع البالوعة الحرارية هو وصلة الانود الخارجية . وتصنع توصيلات الكاثود والبوابة عن طريق اطراف قابلة للانثناء . وفي بعض الحالات ، تتبادل توصيلات الانود والكاثود ، حيث يخصص لتوصيلة الانود الطرف القابل للانثناء . كوسيلة للتعرف على اطراف التوصيل [الالكترود] ،

تطبع الرموز الاصطلاحية للدائرة احيانا على واحد من اوجه تغليف الثايرستور .
كما هو موضح فى الرسم التخطيطى [ب] .

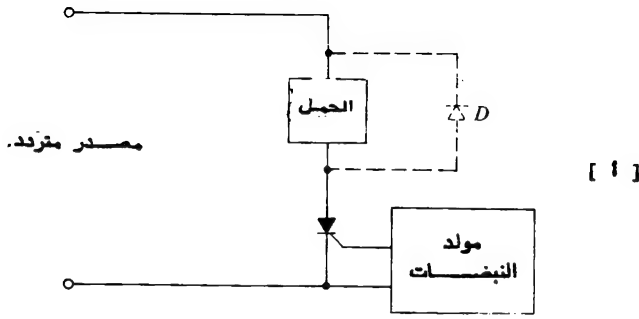
طريقة بسيطة لاختبار الثايرستور : يوضح شكل ١٥ — ٩ طريقة بسيطة لاختبار الثايرستور باستخدام جهاز قياس متعدد المدى موصل على مدى الاوم . وليست قيمة مقاومة دائرة البوابة اقيمتها الموضحة 100Ω [حرجة وتعمل فقط كمقاومة للحد من التيار وعندما يكون المفتاح S مفتوحا ، يجب ان يظهر المؤشر مقاومة لا نهائية . فعند اغلاق المفتاح S ، يجب ان تنخفض



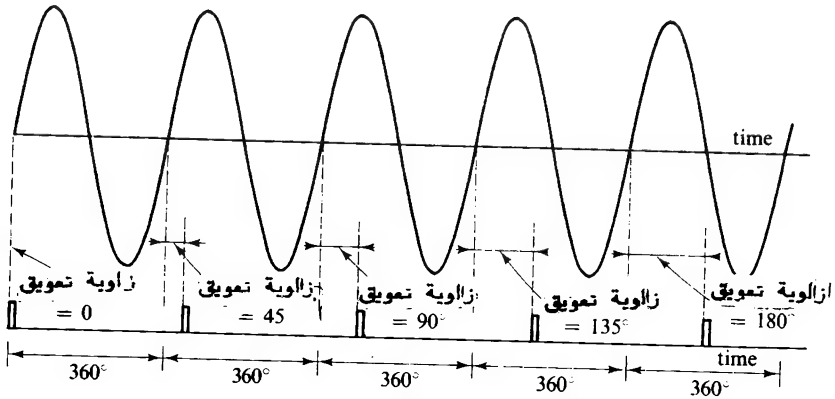
المقاومة المبينة للمؤشر الى قيمة اقل ، تكون عادة 1000Ω ، اما المقاومة بين منطقتى البوابة والكاثود للثايرستور التى يبينها القياس متعدد المدى فتبلغ عادة حوالى 50Ω .

١٥ — ٩ الدوائر الاساسية للثايرستور :

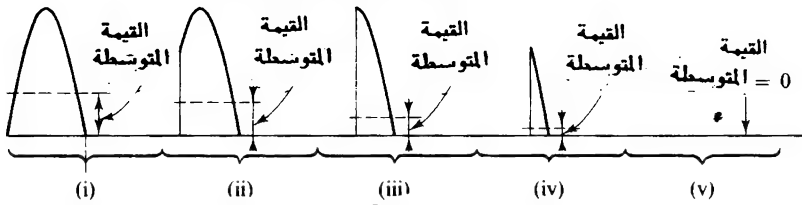
لعل ابسط شكل لدوائر الثايرستور هى دائرة النصف موجه احادية الطور فى شكل ١٥ — ١٠ [ا] . ومن الممكن ان يتبادل وضعى الثايرستور والحمل ، فى بعض الحالات ، لتحقيق ميزة معينة [انظر ، على سبيل المثال ، الجزء ١٥ — ١٠] . سيعطى السبب لاستخدام الداىود D فيما بعد . وكما سبق توضيحه فى الجزء ١٥ — ٧ ، فانه من الممكن اطلاق الثايرستور لحالة التوصيل عند اية نقطة فى انصاف الموجات التى يكون الانود فيها موجبا بالنسبة الى الكاثود . ويمكن التحكم فى النقطة التى يطلق فيها الثايرستور بواسطة مولد النبضات .



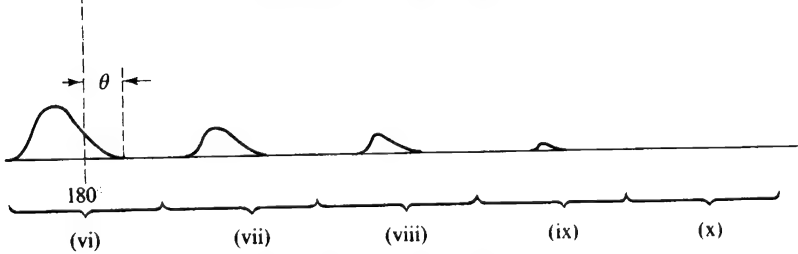
[ب] مصدر جهد تيار متردد



[ج] نبضات البوابة



[د] تيار الحمل [حمل المقاومة]



[هـ] تيار الحمل [حمل المحلطة]

شكل ١٥ - ١٠ الأشكال الموجية لدائرة ثايرستور احادية الطور .

الموصل الى البوابة | لاحظ ان مولد النبضات فى هذه الدائرة يمكن ان يماثل الى حد كبير لذلك الذى قدم فى الجزء ١٣ - ١١ | . ويوضح الرسمان التخطيطيان | د | و | هـ | اشكالا موجية نمطية للتيار فى حالة حمل المقاومة البحتة . وكذا فى حالة حمل المحاعة على الترتيب . وسيوضح فيما يلى عمل الدائرة بالنسبة لكلا النوعين من الحمل .

حمل المقاومة البحتة : | انظر شكل ١٥ - ١٠ | د | يوضح شكل ١٥ - ١٠ | ب | الشكل الموجى من التيار المتردد لخمس دورات كاملة لمصدر الجهد ، ويفترض ان الثايرستور يطلق فى كل دورة بواسطة نبضة واحدة . وتعرف زاوية الطور . التى يطلق عندها الثايرستور بالنسبة الى بداية الدورة ، باسم زاوية التعويق | انظر شكل ١٥ - ١٠ | ب | | وتساوى زاوية التعويق فى الدورة الاولى الصفر ويحدث الاطلاق عند بداية اول نصف دورة موجب | دورة (i) | . وحالما يطلق . فان الثايرستور يستمر فى التوصيل خلال باقى النصف الموجب للدورة . وعند نهاية نصف الدورة هذه وعندما ينخفض جهد المصدر الى الصفر . فان قيمة تيار الحمل تهبط الى ما دون التيار القابض للنبضية . ثم يردد الثايرستور بعدئذ الى أسلوب الاعاقة العكسي خلال كل النصف السالب للدورة عندما لا يمر تيار فى الحمل . وتكافئ القيمة المتوسطة لتيار الحمل خلال الدورة (i) مثلتها فى دائرة مقوم نصف الموجة المعتادة موضحة بخط متقطع على الشكل الموجى (i) .

وتساوى زاوية التعويق فى الدورة (ii) 45° . ويعوق الثايرستور انسياب التيار خلال ال 45° الاولى من الدورة . يحدث الاطلاق عند 45° ويمر التيار فى الحمل لباقي النصف الموجب للدورة . وتناسب القيمة المتوسطة لتيار الحمل مع المساحة اسفل منحنى التيار خلال الدورة (ii) وحيث ان هذه المساحة تقل عن المساحة تحت منحنى تيار الدورة (i) فان القيمة المتوسطة للتيار فى الدورة (ii) تقل عن قيمتها فى الدورة (i) أى ان . زيادة قيمة زاوية التعويق تؤدي الى الاقلال من قيمة تيار الحمل . وهناك طريقة اخرى تشير بها الى زيادة زاوية التعويق وهى ان نقول ان نبضة البوابة متطاورة خلفيا اعتبارا من بداية الدورة . وعندما تقل زاوية التعويق ، نقول ان نبضة البوابة متطاوره اماميا نحو نقطة الصفر . وكما فى حالة الدورة (i) لا ينساب التيار فى النصف السالب للدورة .

وفى الدورة (iii) للرسوم التخطيطية | ب | و | د | . تتطور نبضة البوابة خلفيا الى 90° ويبدأ التوصيل عند هذه النقطة ويستمر لباقي نصف الدورة . وتقل القيمة المتوسطة لتيار الحمل اكثر نتيجة لهذا التأثير . وبزيادة زاوية التعويق الى 135° فى الرسوم التخطيطية | ج | و | د | للدورة (iv) تنخفض القيمة المتوسطة لتيار الحمل الى قيمة منخفضة جدا . وفى النهاية ، تؤدي المطاورة الخلفية لنبضة البوابة بمقدار 180° | انظر الدورة V | الى عدم اطلاق الثايرستور بتاتا ، حيث المحاولة لوصلة عند قيمة الانود مساوية للصفر وعلى وشك ان يصبح سالبا . وتصبح القيمة المتوسطة لتيار الحمل فى الدورة (V) مساوية للصفر . ومن الممكن ان تطاور نبضة البوابة

خلفيا بعد 180° ولكن لا يؤثر هذا التشغيل بأى شكل على جهد الخرج حيث أن الثايرستور لا ينطلق فى هذه الحالة .

ويوضح الوصف السابق كيف يمكن التحكم فى القيمة المتوسطة بتغير زاوية التعويق لنبضات البوابة . يستخدم هذا التكنيك بكثرة فى ترتيبات التحكم فى سرعة المحركات الكهربائية ودرجة حرارة الغرب والاضاءة .. الخ. والاسم الذى يعطى لهذه الطريقة لتغير نقطة الانطلاق هو تحكم الطور .

حمل المحالة : انظر شكل [١٥ - ١٠ هـ] عند تسليط جهد على حمل حثى فان تيار الحمل لا يتزايد الا ببطء فقط عند البداية . ويرجع هذا الى ظاهرة الق.د.ك : المستحثة ذاتيا [العكسية] فى الملف . وعلاوة على ذلك ، فانه عند نهاية النصف الموجب للدورة عندما يقل الجهد الى الصفر ، تمنع الق.د.ك العكسية تيار الحمل من ان يتناقص الى الصفر بصفة لحظية . أى أن التيار يظل منسابا فى الاتجاه الامامى اثناء الجزء الاول من كل نصفه دورة سالبة من الشكل الموجب لجهد المصدر . ويتناظر ذلك مع حالة ارجاع الملف لجزء من الطاقة به الى نظام المصدر .

ويتزايد التيار ببطء فى الدورة (vi) من شكل ١٥ - ١٠ هـ] ، وبعد أن يصل الى قيمة للذروة ، يضمحل فى النهاية الى الصفر عند زاوية θ بعد نهاية النصف الموجب للدورة . ويعنى هذا أن الق.د.ك العكسية فى الحمل الحثى قد دفعت الثايرستور الى الاستمرار فى التوصيل بعد نهاية النصف الموجب للدورة . وفى بعض الدوائر ، يستلزم الامر قطع انسياب التيار خلال الثايرستور اثناء كل النصف السالب - للدورة . وفى احدى الطرق البسيطة لتأكيد حدوث ذلك ، يوصل الداود D على التوازي مع الحمل ، حيث وضح الداود بخط متقطع فى شكل ١٥ - ١٠ [ا] ووظيفة الداود [داود التوحيد] هى تهيئة مسار بديل لانسياب التيار الحثى عندما يصبح جهد المصدر سالبا .

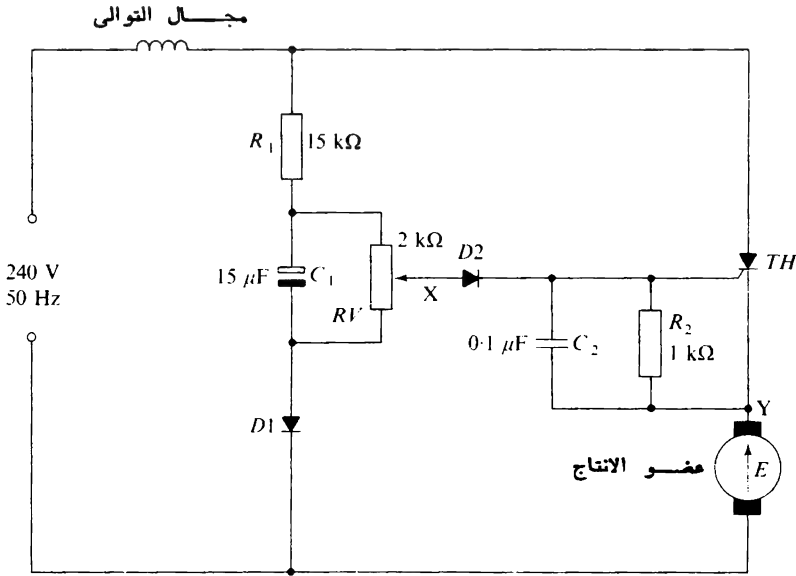
وكما فى حالة المقاومة ، يؤدى التطاور الخلفى لنبضة البوابة والى تعويق نقطة اطلاق الثايرستور ويقلل القيمة المتوسطة لتيار الحمل [انظر الاشكال الموجية (vi) الى (ix) فى شكل ١٥ - ١٠ هـ] . وتنخفض فى النهاية قيمة تيار الحمل الى الصفر عندما تساوى زاوية التعويق 180° .

١٥ - ١٠ نظام التحكم فى سرعة الموتور الجامع :

يوضح شكل ١٥ - ١٠ دائرة تستخدم بكثرة فى المعدات المنزلية للتحكم فى سرعة الموتورات الجامعة . ولقد وجد بالممارسة عقبات لتهيئة تحكم دقيق فى السرعة بالنسبة لنظم التحكم الاساسية للثايرستور من النوع السابق توضحه ، وذلك نتيجة للتغيرات فى الحمل الميكانيكى المسلط على الموتور . ومن ضمن الطرق التى تستخدم للتغلب على هذه الصعوبة توفير

تغذية مرتدة سالبة مع نظام التحكم وينفذ هذا في شكل ١١ - ١١ باحلال موضعي الثايرستور والحمل كل منهما بدل الاخر اذا ما قورن ذلك مع دائرة شكل ١٥ - ١٠ . وهنا يمكن اعتبار حمل عضو الانتاج كما لو كان مقاومة بحتة ولا تحتاج الى دايود التوحيد .

ويقوم الدايود $D1$ بأداء دور مقوم نصف الموجه الذي يسمح بسلسلة نبضات ذوات اتجاهيات موجبة لان تظهر عبر مجموعة المقاومات R_1 و RV وبالتالي يصبح الجهد عند النقطة X ، والذي يمكن ان يتغير بضبط منزلق الفرق وجهد « مرجع السرعة » المسلط على نظام التحكم . أما وظيفة المكثف C_1 فهي تقديمه انحراف في الطور . بين



شكل ١٥ - ١١ دائرة نصف موجة للتحكم في سرعة الموتور الجامع

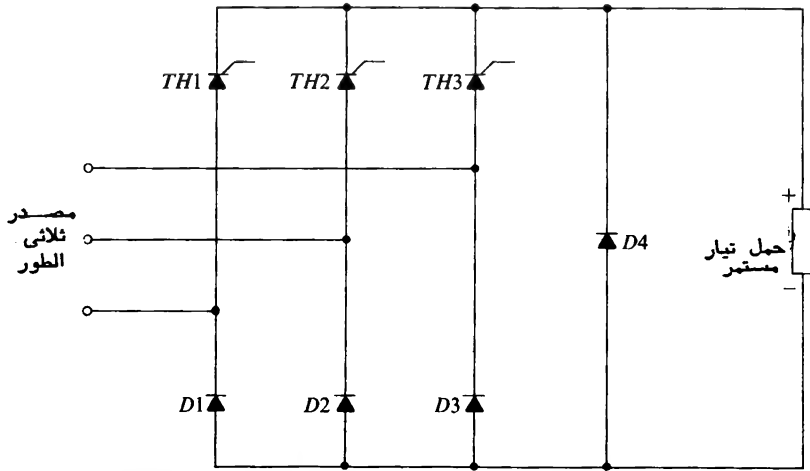
الجهد V_X ومصدر الجهد ، والسماح لزاوية تعويق الاشغال بإمكانية التحكم فيها بانتظام من صفر الى 150° . وتعتمد قيمة C_1 المستخدمة على خواص الموتور ، وقد تزيد القيمة المختارة او تقل عن القيمة الموضحة . اذا اصبح المكثف C_1 ضمن دائرة مفتوحة ، فانه يمكن التحكم في زاوية التعويق في المدى من صفر الى 90° فقط ، مما يعنى ان الاله لن تعمل بكفاءة عند السرعة المنخفضة .

ويستخدم فرق الجهد بين النقطتين X و Y لاطلاق الثايرستور . ويساوى الجهد عند النقطة Y بالتقريب قيمة الق.د.ك « العكسية » لعضو الانتاج والتي تتناسب بالتالي مع سرعة دوران عضو الانتاج . وهكذا كلما ازداد جهد X عن جهد Y يطلق الترانزستور لحالة من التوصيل تسلط

القدرة الى الموتور . ويؤدى تحريك منزلق الفرق الى اعلى [اتجاه R_1] الى انخفاض قيمة زاوية التعويق ، مما يؤدى الى دوران عضو انتاج الموتور بسرعة اكثر هذا وتضمن المكونات R_2 و C_2 لتعطى تحكما منتظما فى السرعة فى حالات السرعة المنخفضة عندما تكون زاوية التعويق كبيرة .

١٥ - ١١ دائرة قنطرية ثلاثية الطور يمكن التحكم فيها :

يعتبر مقوم القنطرة ثلاثى الطور والموضح فى شكل ١٥ - ١٢ دائرة شائعة فى كثير من المنشآت الصناعية . وتختلف هذه الدائرة عن مقوم القنطرة التى لا يراد التحكم فيها والتى سبق ان وضحت فى الفصل الثامن ، فى أن وحدات الثايرستور قد حلت محل وحدات الدايدود الثلاثة العلوية . وحيث ان نصف النبائط فقط فى الدائرة عبارة عن وحدات ثايرستور ، فانها تعرف باسم دائرة المقوم القنطرى ثلاثية الطور ، والتى يمكن التحكم فيها جزئيا .



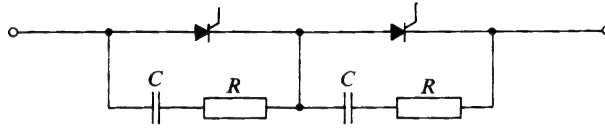
شكل ١٥ - ١٢ المقوم القنطرى ثلاثى الطور الذى يمكن التحكم فيه بالثايرستور

تعرف دوائر المقوم القنطرى التى تستعمل وحدات الثايرستور الشاملة بدوائر المغير القنطرى والتى يمكن التحكم فيها بالكامل . وتختلف النبضات المسلطة على البوابات $TH1$ و $TH2$ و $TH3$ وفى الطور كل منهما عن الاخرى بزاوية قدرها 120° وللتحكم فى القيمة المتوسطة لجهد الخرج من الدائرة ، تنظم كل نبضات البوابات لى تكون اما خلفية التطاور او امامية التطاور فى نفس الوقت .

عندما يوصل $TH1$ يعود التيار الى المجموعة خلال وحدتى الدايدود $D2$ و $D3$ وعندما يوصل $TH2$ فان التيار يعود خلال $D1$ و $D3$. الخ . . . علما بأن الدايدود $D4$ عبارة عن دايدود توحيد ويستخدم للاحمال الحثية فقط .

وكما فى حالة دوائر قنطرة الدايدود فى الفصل الثامن ، فانه يجب وقاية وحدات الثايرستور من الجهود والتيارات العابرة . وعندما توجد فى الدائرة، يمكن وقايتها بالمصهرات من المواد شبه الموصلة ذات السرعة المرتفعة وكذلك

بالمصهرات عالية السعة المقنتة (h. r. c) . وعلاوة على ذلك فان وحدات الثايرستور تكون اكثر عرضة للتلف بالجهود العابرة عن أى وحدات الدايدود ثنائية الوصلات . وفى إحدى الطرق المستخدمة لوقاية الثايرستور توصل شبكة مكونة من R و C على التوازي مع الثايرستور ، كما هو موضح فى شكل ١٥ - ١٣ .

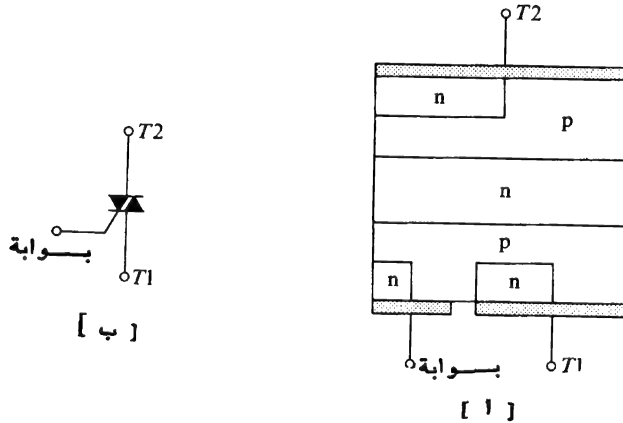


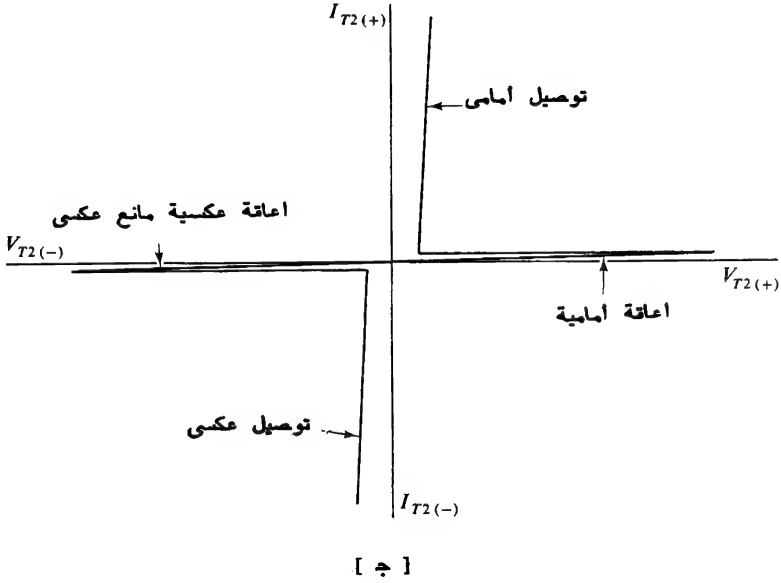
شكل ١٥ - ١٣ وقاية الثايرستور

وتخذ المقاومة R والمكثف C فى الدائرة قيمًا شائعة مقدارها $10\ \Omega$ و $0.01\ \mu F$ على التوالى . وتحقق المكونات R و C اغراضا اخرى تشمل [١] تهيئة توزيع جهد منتظم بين وحدات الثايرستور عندما تنحاز عكسيا . و [ب] تهدئة اية تذبذبات قد تحدث بين محاثّة المصدر والسعة الذاتية لوحداث الثايرستور . وعلاوة على ذلك ، وفى حالة ارتفاع محاثّة العمل ، يصبح معدل تغير تيار الحمل عند الوصل (ON) بطيئا نسبيا ، وفى مثل هذه الحالات ، وفى حالة عدم وجود المكثف C والمقاومة R ، قد يعجزا الثايرستور « ليصل » الى حالة التوصيل عند الوقت الذى تهبط فيه نبضة البوابة الى الصفر . عند توصيل المقاومة R والمكثف C على التوازي مع الثايرستور ، تؤدى نبضة الانطلاق الى تفريغ المكثف C خلال الثايرستور ، ينتج عن هذا التيار اسقاط كل ثايرستور فى منطقة التوصيل .

١٥ - ١٢ الثايرستور ثنائى الاتجاه أو الترايك :

الترايك هو نبطية من مادة شبه موصلة متعددة الطبقات ، ويوضح شكل ١٥ - ١٤ [١] قطاع مبسط لها . ويبين كل من الرسم التخطيطى [ب] و [ج] الرمز الاصطلاحي للدائرة ، وخواص النبطية على الترتيب .





شكل ١٥ - ١٤ الترياك وخواصه

للترياك ثلاثة اطراف هي T_1 و T_2 والكترود البوابة . وحيث أن الترياك يستطيع أن يوصل في كلا الاتجاهين فإنه لا يمكن اعتبار أحد الطرفين الأساسيين [T_1 و T_2] على أنه أنود النبطة . ويمكن أن يعمل الترياك أما على الأسلوب العائق أو على أسلوب التوصيل لكل من قبي الطرف T_2 كما هو موضح في الخواص المبينة في شكل ١٥ - ٤ [ج] . وعلاوة على ذلك ، يمكن أن يطلق الترياك للتوصيل بواسطة إشارة البوابة التي إما أن تكون موجبة وسالبة القطبية . وعلى وجه العموم ، يحتاج الترياك إلى تيار بوابة ذي قيمة أكبر من تلك التي يحتاجها الثايرستور لكي ينطلق إلى حالة التوصيل .

طريقة بسيطة لاختيار الترياك :

من الممكن أن تستخدم الطريقة الموضحة في الجزء ١٥ - ٨ [أنظر أيضا شكل ١٥ - ٩] لاختبار وحدات الثايرستور كذلك لاختبار وحدات الترياك . وحيث أنه من الممكن إطلاق الترياك بأي من قطبية الجهد المسلط فإن قطبية إشارة البوابة وكذلك توصيلات الترياك إلى المقياس المتعدد المدى لن تؤثر على نتيجة الاختبار . وتبلغ قيمة المقاومة بين البوابة والطرف T_1 كما يوضحها المقياس ، في العادة حوالي بضعة مئات من وحدات الأوم .

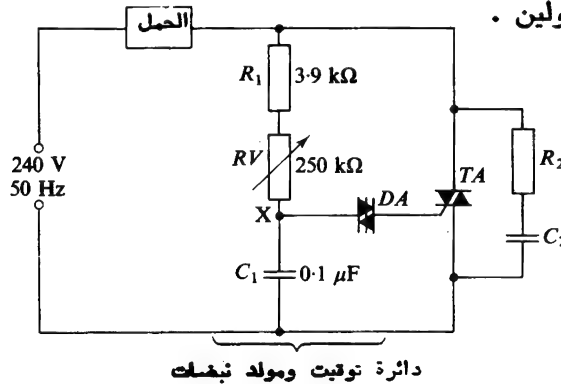
١٥ - ١٣ دائرة الترياك أحادية الطور

يوضح شكل ١٥ - ١٥ [١] دائرة تريك أحادية الطور يمكن أن تستخدم للتحكم فى أنسياب التيار المتردد فى حمل ما ، وتعتبر هذه الدائرة أساساً لطرق كثيرة للتحكم فى الإضاءة . ويمكن التحكم فى قيمة ج.م.م تيار الحمل بواسطة مولد النبضات الذى يتضمن الداك DA ، والذى تم شرح طريقة تشغيله فى الجزء ١٣ - ١١ من الفصل الثالث عشر . وفى هذه الحالة ، يسلط جهد تيار متردد على دائرة التوقيت [المكونة من R_1 و RV و C_1] بحيث تكون قطبية النقطة X موجبة فى النصف الموجب لدورة الشكل الموجى للمصدر وسالبة فى النصف السالب للدورة . وكنيجة لذلك ، تتخذ قطبية نبضية بوابة الترياك قطبية متبادلة بين الموجبة والسالبة لجميع انصاف الدورات المعنية من الشكل الموجى للمصدر [انظر شكل ١٥ - ١٥ [ج]] .

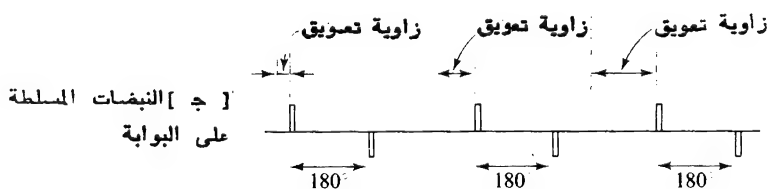
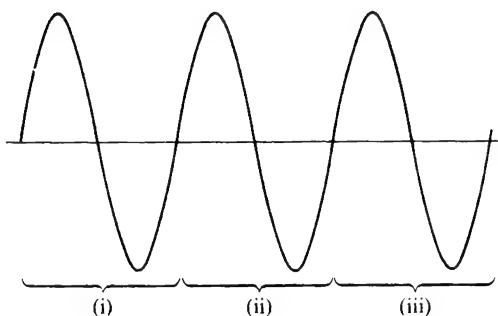
وتتعرض وحدات الترياك لانطلاق خاطيء نتيجة جهود عابرة ويمكن وقايتها ضد هذا التأثير بواسطة شبكة مكونة من مقاومة ومكثف R_2 و C_2 . تقلل هذه الشبكة من معدل ارتفاع الجهد بين طرفى الترياك الى قيمة مقبولة . وتعرف هذه الدائرة الإضافية المكونة من R و C بدائرة المصدرة [المتصلة للصدمة] .

وفى الدورة (i) لشكل ١٥ - ١٥ [ب] يشعل الترياك للتوصيل عند نقطة مكبرة فى كل من نصفى الدورة ويتخذ الشكل الموجى للخروج [الرسم التخطيطى د] شكلاً مقارباً للشكل الموجى وفى الدورة (ii) من نفس الشكل تزداد قيمة RV بحيث تصبح زاوية التعويض فى كل من نصفى الدورة مساوية لـ 90° . وتقل قيمة ج.م.م تيار الحمل للشكل الموجى (ii) عن قيمة ج.م.م للموجة (i) . وتؤدي زيادة زاوية التعويض [انظر الدورة iii] الى الاتلال من قيمة ج.م.م تيار الحمل .

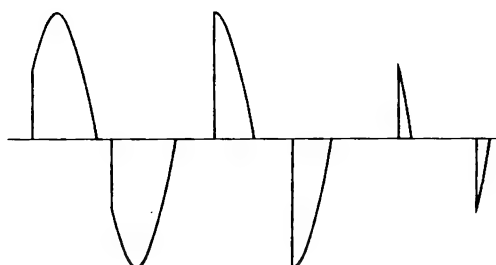
ومن الممكن التوصل الى تحكم مماثل لما وضح سابقاً باستخدام وحدتى ثايرستور موصلتين على التوازي وبحيث يعاكس كل منهما الآخر كما هو موضح فى شكل ١٥ - ١٦ . ويستخدم مولد نبضات واحد لاطلاق وحدتى الثايرستور حيث تمد البوابة بالنبضات عن طريق مولد نبضات ذى ملفين ثانويين معزولين .



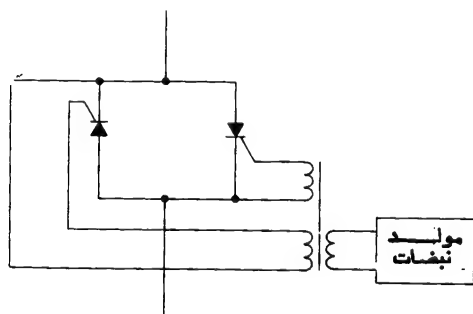
[ب] مصدر جهد



[د] التيار الحمل
[حمل مقاومة بحتة]



شكل ١٥ - ١٥ دائرة أساسية [أحادية الطور للترياك]

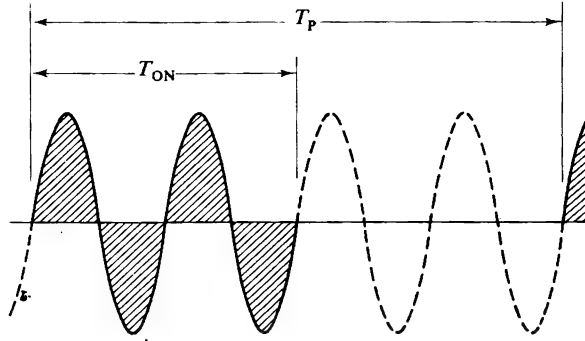


شكل ١٥ - ١٦ وحدتي ثايرستور موصلتين على التوازي ومتعاكستين

١٥ - ١٤ التحكم فى تفجير الاشعال

من احدى عيوب طرق التحكم الطورى السابق توضيحها ان التغير السريع للجهد والتيار نتيجة لوصل الثايرستور (ON) عند منتصف الدورة يمكن أن يولد تداخلات لترددات اللاسلكى .

ومن الممكن استخدام طريقة اخرى بديلة تعرف باسم تفجير الاشعال [تعرف، ايضا باسم الاشعال ، عند نقطة الصفر واسم الاشعال عند جهد الصنر واسم اشعال الدورة الكاملة] فى بعض الحالات للتغلب على هذه المشكلة . وفى هذه الطريقة من التحكم ، تطلق وحدات الثايرستور او الترياك الى التوصيل عند بداية الدورة أى عندما يكون جهد المصدر يساوى الصفر ، وتستمر فى حالة التوصيل لعدد من انصاف دورات الشكل الموجى لجهد المصدر . وبعد هذه الفترة من التشغيل ، يسمح بايقاف وحدات الثايرستور (OFF) ويستمر الحفاظ على حالتها من الاعاقة لبضعة انصاف دورات اخرى . وبعدئذ يستمر تكرار تتابع الوقائع سالفة الذكر . وعندئذ ، تعتمد القيمة الفعالة لتيار الحمل على ذلك الجزء من التتابع الذى يصبح الثايرستور عنده فى حالة توصيل . وعلى سبيل المثال ، توجد ثمان انصاف دورات التتابع الكامل المبينة فى شكل ١٥ - ١٧ .



شكل ١٥ - ١٧ التحكم فى تفجير الاشعال

فاذا كان الزمن الذى توصل فيه وحدات الثايرستور هو T_{on} ، فان قيمة ج.م.م جهد الحمل V_o تكون :

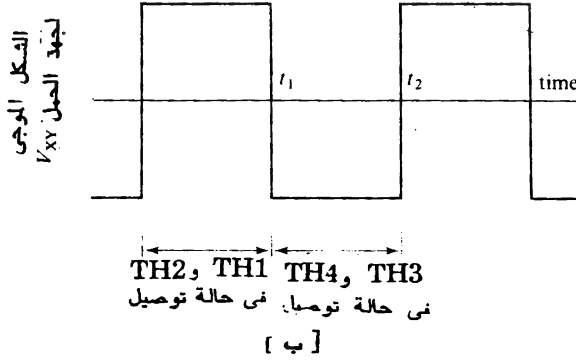
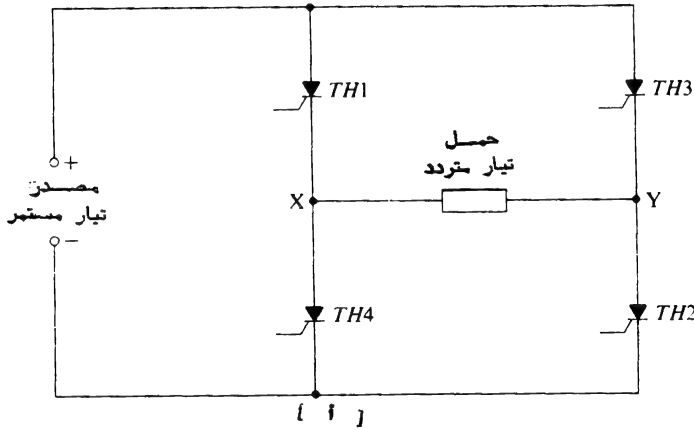
$$V_o = V_s \sqrt{\left(\frac{T_{ON}}{T_P}\right)} = V_s \sqrt{\frac{4}{8}} = 0.707 V_s$$

حيث V_s هى قيمة ج.م.م جهد المصدر و T_P هى الزمن الدورى للتتابع الكامل .

هذا ويتلائم التحكم فى تفجير الاشعال جيدا مع الاحمال ذات الثابت الزمنى الطويل نسبيا ، مثل التحكم فى الامران . ومع ذلك ، فهى لا تتلائم مع تطبيقات اخرى مثل التحكم فى الاضاءة والتحكم فى سرعة المحرك الكهربائى ، حيث أن الدخل الدفعى للقدرة يحدث تغيرات ملحوظة فى الخرج.

١٥ - وحدات الثايرستور العاكسة

العاكسى هو دائرة تحول قدرة تيار مستمر الى قدرة تيار متردد ، وتعتبر الدائرة القنطرية فى شكل ١٥ - ١٨ [ا] مثالا على ذلك . وتعمل الدائرة كما يلي:



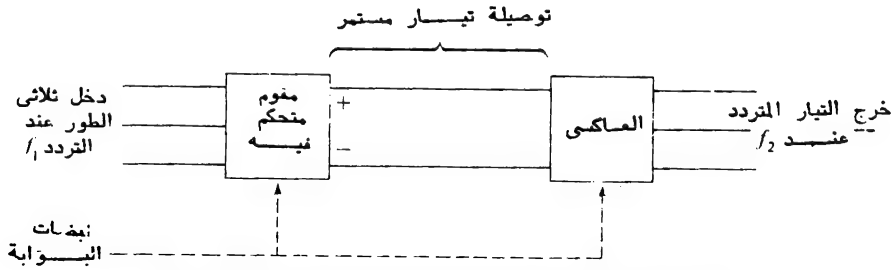
شكل ١٥ - ١٨ دائرة قنطرية اساسية للعاكسى

وتدار ازواج الثايرستور المتقابلة قطريا الى حالة التوصيل بالتتابع .
 ففى اول الامر توصل وحدتا الثايرستور TH1 و TH2 (ON) فى آن واحد وفى نفس الوقت تكون كل من TH3 و TH4 فى حالة قطع . واثناء هذه الفترة من التشغيل ينساب التيار خلال الحمل من X الى Y . وعند الزمن t_1 [الرسم ب] يدفع التيار بالقسر خلال TH1 و TH2 الى قيمة الصفر قبل ان يطلق كل من TH3 و TH4 الى حالة التوصيل . وللتبسيط حذفت تفاصيل دائرة توحيد التيار . وعندما يصبح كل من TH3 و TH4 فى حالة التوصيل ، ينعكس اتجاه انسياب التيار خلال الحمل . وعند الزمن t_2 [الرسم ب] ، يدفع التيار المسار خلال TH3 و TH4 الى قيمة الصفر ، ويوصل كل من TH1 و TH2 (ON) مرة اخرى . ويصبح الشكل الموجى للجهد بين طرفى الحمل عبارة عن موجة مربعة كما هو موضح فى الشكل ١٥ - ١٨ [ب] ، حيث لا يؤدى مظهرها الى تأثيرات سقيمة ظاهرة على الاحمال الصناعية كالموتور الحثى مثلا .

ويمكن الحصول على خرج ذى شكل موجى جيبي بتعديل دائرة العاكس وتستخدم العواكس من هذا النوع بكثرة كمصادر قدرة احتياطية تستخدم فى حالة حدوث عطل فى مصدر القدرة . فالعاكس يهيم مصدرًا للقدرة للوحدات الصناعية الاساسية تستمر عادة من البطاريات .

١٥ - ١٦ محولات [متغيرات] التردد

تستخدم محولات التردد فى المنشآت الصناعية لتهيئة القدرة لحركات الادارة الكهربائية بسرعات مختلفة . ففى محول التواصل للتيار المستمر فى شكل ١٥ - ١٩ ، توجد توصيلة تيار مستمر مقوم ثايرستور متحكم فيه وعاكس



شكل ١٥ - ١٩ فكرة محول التردد القواصل للتيار المستمر .

وهنا يعطى المقوم المتحكم فيه مصدرًا متغيرًا لجهد التيار المستمر والذي يسلط على العاكس . ويؤدى وصل وحدات الثايرستور فى المحول ON و OFF ، بمعدلات متغيرة ولكن يمكن التحكم فيها ، الى توليد خرج تيار متردد بترددات متغيرة بواسطة المحول . ويمكن الحصول على خرج جيبي بتعديل دائرة العاكس .

الفصل السادس عشر

معدات الاختبار

تختلف أنواع الاختبارات التي تجرى بالنسبة للدوائر الالكترونية قليلا جدا عن تلك التي تتعلق بالدوائر الكهربائية بصرف النظر عن مقدار الكميات المتضمنة . أى ان كلا المهندسين الالكترونى والكهربائى يهتمان بقياس الجهد والتيار والمقاومة والمحاثة والسعة والتردد ... الخ . وفى هذا الفصل ، سنتناقش الانواع الرئيسية من معدات الاختبار ، مع الاشارة فى نفس الوقت الى ما يحد من استخداماتها .

١٦ - ١ المعدات المطلوبة فوق منضدة الاختبار

لعل اكثر اجهزة المنضدة أهمية هو مقياس متعدد المدى لكلا التيارين المتردد والمستمر صالح لقياس التيار والجهد والمقاومة [يعرف باسم الافو AVO] *

فاذا لم يتواجد فوق منضدة التشغيل سوى جهاز وحيد ، فان أنسب نوع على وجه الاطلاق هو جهاز قياس ذو الملف المتحرك . وتهىء الاجهزة المزودة بطريقة رقمية للعرض عرضا واضحا ودقيقا ، لكن دوائرها معقدة ، وتتطلب خدمات احد الفنيين ممن هم على درجة عالية من المهارة فى حالات الصيانة او التصليح .

بالاضافة الى جهاز الملف المتحرك المتعدد المدى والمألوف ، فان الفولتميتر الالكترونى [معه مقياس بملف متحرك] ذو معاوقة الدخل المرتفعة القيمة ، يعتبر واحدا من الموجودات القيمة .

وتأتى مرسمة أشعة الكاثود للتذبذبات (CRO) ، على درجة عظيمة فى ترتيب الاهمية ، حيث من الممكن ان تستخدم لتابعة الاشكال الموجية ، بالاضافة الى امكانية استعمالها كجهاز للقياسات . فباستخدام هذه المرسمة، يمكن قياس كميات مثل الجهد مع الفترة الزمنية وبطريقة مباشرة وعند الاستعانة بمعدات اخرى مع هذه المرسمة فى الامكان القيام بقياس التيار والمقاومة وكميات اخرى .

* هذا هو الاسم الدارج فى المنطقة العربية فى رأى المترجم وهو يختلف عن VOM الاسم الذى الذى نكره المؤلف .

وان اضافة اخرى مفيدة فوق منضدة التشغيل لتمثل فى مذبذبات الترددات السمعية او مولد الاشارات والقادر على توليد موجات جيبيه وموجات مربعة فى ذلك المدى من الترددات الذى يبدأ من حوالى 10 Hz وينتهى 100 k Hz او اكثر .

لكن . يمكن القيام ببعض الاختبارات البسيطة ، فى بعض الحالات ، باستخدام المقياس متعدد المدى .

ومى احوال اختبار المعدات او صيانتها ، فان مصدر القدرة المتحرك يعتبر واحدا من الموجودات الهامة اللازمة . ومن الممكن ان يكون هذا المصدر اى شئ ابتداء من صندوق بهبضعة بطاريات جافة الى مصدر قدرة مستقر ومزود بإمكانيات للوقاية فى حالة زيادة التيار وزيادة الجهد .

ولا ينبغي ان تخلو منضدة التشغيل من تنويعه اجهزة واجبة منها صناديق المقاومات والمكثفات الابدالية تحتوى على مقاومات ومكثفات بقيم حيث يمكن انتقاء المقاومات بواسطة مفاتيح . ومن الممكن استخدام هذه الصناديق فى حالة تصميم دوائر جديدة بالاضافة الى امكانية استخدامها كبدايل مؤقتة لوحداث تالفة وعلاوة على ذلك ، يحتاج مهندسى الخدمة الى كاويتى لحام واحدة منها منخفضة التعتين لاشغال الدوائر المتكاملة الدقيقة | مفكات ، وزرديات ، وحدات نزع الاسلاك ، قواطع مفاتيح ربط من النوع المفتوح والنوع المغقول ، وكذلك مفاتيح الزاوية المسدسة allen keys

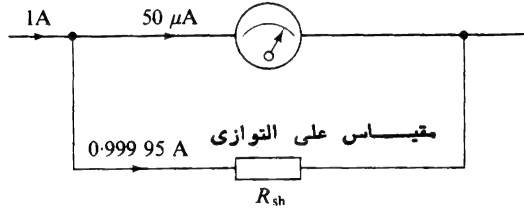
فاذا ما انشئت ورشة اكثر شمولاً ، فينبغى ان تتضمن اجهزة اختبار بالصمامات وبالترانزستور ، مرسومات المنحنى بالترانزستور ، اجهزة قياس التردد الرقمية وكذلك العدادات وساعات التوقيت .

١٦ - ٢ أجهزة قياس الملف المتحرك متعددة المدى

نظرا لان المقاومات فى كثير من الدوائر الالكترونية تتخذ قيما عالية جدا ، تعادل فى الغالب عددا من آلاف من وحدات الاوم او حتى بضعة ملايين من وحدات الاوم ، فان مستويات قيم التيار المتضمنة تصبح منخفضة فى الواقع على الوجه ومن الافضل ، ان يعطى اى جهاز متعدد المدى ، يستخدم لقياس التيار فى هذه الدوائر ، بالضرورة ، انحرافا عبر كل المقياس [(F.S.d)] لدى التيار المستمر الاكثر حساسية وبتيار قدره 50 μ A او اقل . ويبلغ مقدار المقاومة المقاسة بين طرفى جهاز شائع من مثل هذا النوع ما قيمة 2500 Ω بالنسبة لدى التيار 50 μ A مما يعطى فرق جهد عبر الجهاز مقداره 0.125 V فى حالة الانحراف عبر كل المقياس . ومن الممكن ان يشكل مثل هذا النوع من المقياس الاساسى الذى يعمل عليه جهازا متعدد المدى لكلا التيارين المتردد والمستمر . وسيوصف فيما يلى طريقة استخدام الجهاز لقياس القيم المختلفة للتيار والجهد والمقاومة .

مبدى قياسات التيار : لنفترض انه من المطلوب تحويل جهاز يعطى انحرافا عبر كل المقياس عند مرور تيار قدره 50 μ A الى مقياس

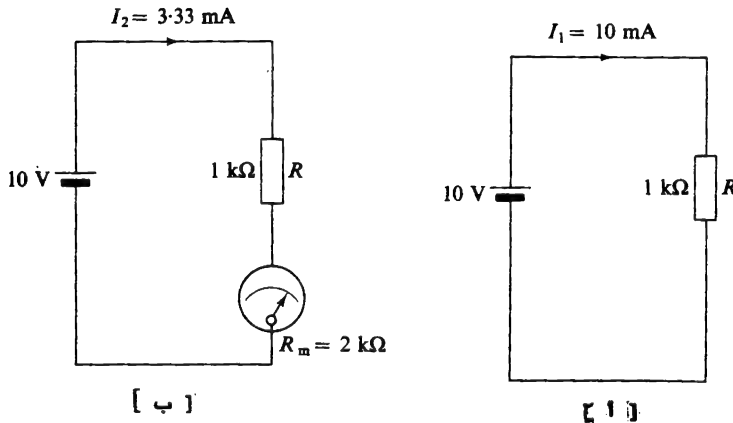
يعطى انحرافا عبر كل المقياس عند مرور تيار قدره 1 A فمن الممكن الاستعانة بشكل ١٦ - ١ لتوضيح الطريقة التي تتبع لتحقيق هذا الغرض .



شكل [١٦ - ١] فى مدى التيار جهاز الملف المتحرك

فلهذا الغرض يتم توصيل R_{sh} على التوازي مع المقياس بحيث يمر الجزء الاكبر من التيار خلال المجرى . وفى الحقيقة ، تبلغ قيمة التيار المار بالمجرى ما مقداره 0.99995 A بينما يمر تيار قدره 50 μA فقط خلال الملف المتحرك داخل المقياس . ومن الممكن استخدام تيار قيمته 50 μA خلال الملف المتحرك ، فيما يتعلق بأجهزة القياس التجارية ، ليكن قياس تيارات تتراوح قيمتها بين 50 μA الى بضعة وحدات من الامبير . ومن الواضح ، ان قيمة مقاومة المجرى اقل مقدارا من قيمة مقاومة ملف القياس المتحرك ، كما وان قيمة معامل المقاومة مع درجة الحرارة ينبغي ان تتخذ بالمثل قيمة صغيرة جدا من أجل الحفاظ على درجة دقة الجهاز عبر مدى واسع لتغير درجة الحرارة .

وينبغي ان تتخذ الاحتياطات عند قياس قيمة التيار فى الدوائر الالكترونية والا قد تغير مقاومة المقياس نفسه من قيمة تيار الدائرة كما يتضح فى شكل ١٦ - ٢ افترض ان التيار المار فى الدائرة ١٦ - ٢ [١] هو المراد قياسه . القيمة الفعلية لهذا التيار هى



شكل ١٦ - ٢ وضع يمكن ان يؤدي الى اخطاء عند قياس التيار فى دائرة الكترونية الحقيقية للتيار المار فى الدائرة تكون ،

$$I_1 = \frac{V}{R} = \frac{10 \text{ V}}{1 \times 10^3 \Omega} = 10^{-3} \text{ A or } 10 \text{ mA}$$

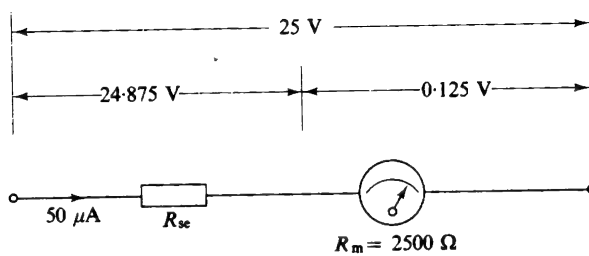
فإذا كان هناك جهاز واحد فقط متاح ذو مقاومة داخلية قدرها $2 \text{ k}\Omega$ فإن التيار الذى يشير إليه المقياس ، عندما يتم توصيله مع الدائرة [أنظر شكل ١٦ - ٢] يكون

$$I_2 = \frac{10 \text{ V}}{R + R_m} = \frac{10}{3 \times 10^3} = 3.33 \times 10^{-3} \text{ A or } 3.33 \text{ mA}$$

حيث R_m هى مقاومة الملف المتحرك بالجهاز . وتصبح القيمة التى يشير إليها الجهاز أقل بمقدار 67% من القيمة الصحيحة .

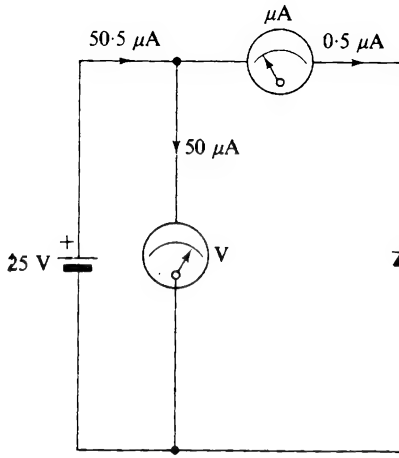
ولكى لا يؤثر الاميتر [أو الميكرواميتر] فى أحوال الدائرة، ينبغى أن تقل مقاومته بكثير جدا عن مقاومة باقى أجزاء الدائرة. وفى المثال الموضح عاليه. فمن الأفضل أن لا تكون مقاومة الاميتر المستخدم ، قد اتخذت قيمة أكبر من حوالى 10Ω . **مدى قياسات الجهد** : لنفترض أنه من المطلوب تحويل المقياس بتيار $50 \mu\text{A}$. الى فولتميتر — لانحراف عبر كل المقياس قيمته 25 V . ويوضح شكل ١٦ - ٣ الأساس الذى تبنى عليه هذه الدائرة ، أذ توصل المقاومة الهبوطية R_{se} على التوالى مع المقياس بحيث يصبح فرق الجهد عبر R_{se} مساويا لـ [فرق الجهد عبر المقياس — 25] فولت .

فإذا كان فرق الجهد عبر الجهاز يساوى 0.125 V عند الانحراف عبر كل المقياس ، فإن فرق جهد الجهد عبر R_{se} يساوى 24.875 V عند مرور تيار مقداره $50 \mu\text{A}$ ، بمعنى أن قيمة R_{se} تكون $24.875/50 \times 10^{-6} = 497500 \Omega$ وباستخدام قيم مختلفة ومتعددة للمقاومة R_{se} ، يمكن انشاء فولتميتر متعدد المدى .

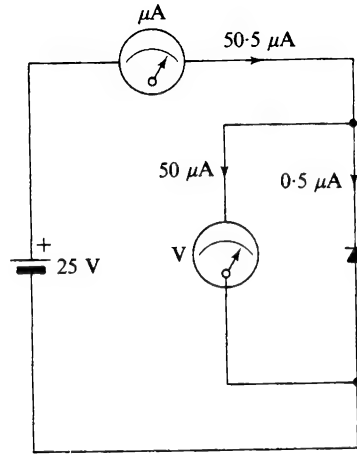


شكل ١٦ - ٢ دائرة تستخدم لتحويل مايكرو اميتر الى فولتميتر .

وبالرغم من أن الفولتميتر الذى سبق عرضه لا يتطلب سوى تيار قيمته $50 \mu\text{A}$ لكى يعطى انحرافا عبر كل المدى ، فإن الاستخدام الخاطئ للجهاز قد يعطى نتائج مضللة فى بعض الدوائر . فمثلا ، اذا استخدمت الدائرة الموضحة فى شكل ١٦ - ٤ [١] لتحديد قيمة تيار التسرب من الدايدو فائنا نتحصل على نتائج غير صحيحة نظرا لان الميكرواميتر يقرأ مجموع تيار التسرب من الدايدو و تيار الفولتميتر . ويمكن الحصول على نتيجة دقيقة .



[ب]



[أ]

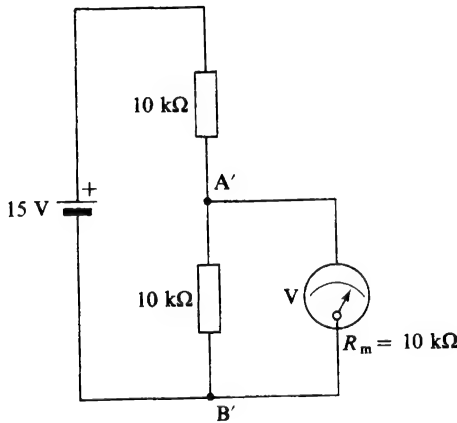
شكل ١٦ - ٤ من الممكن أن تؤدي الدائرة [أ] لأخطاء في القراءات عند تحديد قيم صغيرة لتيار مار في دائرة الكترونية .

بتعديل الدائرة لتصبح كما الموضحة في شكل ١٦ - [ب] حيث يمر تيار الترسيب للدايود بالنسبة لهذه الدائرة خلال الميكرو أميتر .

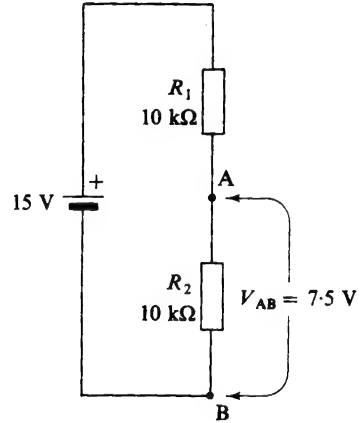
ويوضح شكل ١٦ - ٥ وضعاً يؤدي إلى أخطاء في قراءات الجهد في بعض الحالات ففي شكل ١٦ - ٥ [أ] ، يكون الجهد بين نقطة A ونقطة B

$$V_{AB} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times 15 \text{ V} = \frac{10}{20} \times 15 = 7.5 \text{ V}$$

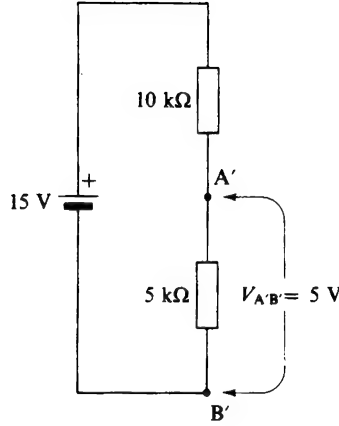
ولنفترض انه قد اتخذت محاولة لقياس هذا الجهد بواسطة فولتميتر بمقاومة داخلية مقدارها $10 \text{ k}\Omega$ ، كما هو موضح بشكل ١٦ - ٥ [ب] . ففي هذه الحالة ، يقلل الفولتميتر من القيمة الفعلية لمقاومة الدائرة بين



[ب]



[أ]



[ج]

شكل ١٦ - ٥ إمكانية حدوث أخطاء في قراءات الفولتميتر باستخدام فولتميتر بمقاومة داخلية أقل كثيرا من اللازم .

النقطتين A' ، B' في الشكل ١٦ - ٥ [ب] إلى 5 kΩ والموضحة في الشكل ١٦ - ٥ [ج] . وتعطى قيمة الجهد $V_{A'B'}$ التي يشير إليها الفولتميتر هكذا .

$$V_{A'B'} = \frac{5}{5 + 10} \times 15 = 5 \text{ V}$$

ولكي يعطى الفولتميتر بيانا صحيحا لقيمة الجهد ، ينبغي أن تزيد مقاومته الداخلية كثيرا جدا عن المقاومة التي يقاس الجهد بين طرفيها . فمن الأفضل في الحالة الموضحة بالشكل ١٦ - ٥ [أ] ، أن تزيد مقاومة الفولتميتر الداخلية ، بالضرورة ، عن مائة ضعف قيمة المقاومة المقاسة بين نقطتي A و B ، أي أن المقاومة الداخلية يتحتم أن تعادل 1 MΩ أو أكثر هذا وينبغي استخدام فولتميتر الكتروني ، كلما أمكن ذلك ، حيث أن مقاومته الداخلية ذات قيمة مرتفعة للغاية .

وتعطى قيمة مقاومة الجهاز الفعلية ، دائما وأبدا ، بوحدات الأوم بالنسبة إلى وحدات الفولت عن الانحراف عبر كل المقياس . وتمثل هذه القيمة مقلوب قيمة التيار اللازم لكي يسبب انحرافا عبر كل المقياس . وهكذا ، يوصف مقياس بملف متحرك ذو تيار قدره 50 μA . وكأن له 20 000 Ω/V للملف المتحرك ، حيث

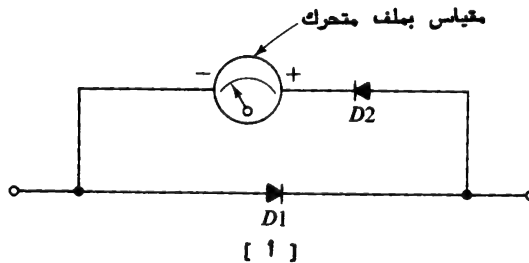
$$\frac{1}{50 \mu A} = \frac{1}{50 \times 10^{-6}} = 20\,000 \Omega/V$$

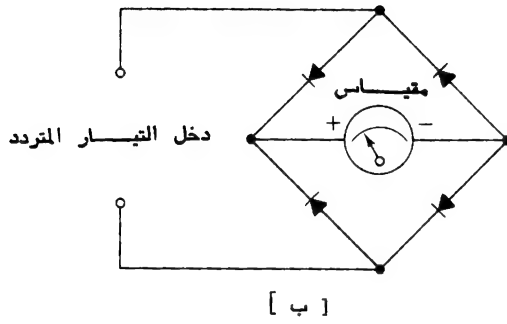
وعندما يستخدم مع مدى للجهد قدره 25 V عند الانحراف عبر كل المقياس، فان مقاومة الجهاز تعادل $500\,000\ \Omega = 25 \times 20\,000$ وان جهازا من هذا الطراز يعتبر مناسباً لأغراض القياس الأساسية، ولكن تحت القيود الموضحة عاليه .

مدى قياسات التيار المتردد : تستخدم الاجهزة التى تقيس التيارين المتردد والمستمر على الدوام ، مجموعة الملف المتحرك مع مقوم [أ] للموجة النصفية أو للموجة الكاملة [ب] . وقد أسس تدريج التيار المتردد للمقياس بافتراض الشكل الموجى للإشارة المراد قياسها تتخذ شكلاً جيبياً . فإذا لم يكن هذا هو الحال ، أصبحت القراءات خاطئة .

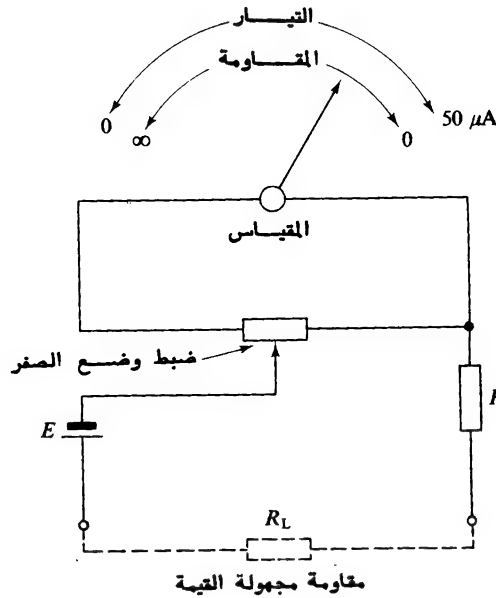
يوضح شكل ١٦ - ٦ [١] دائرة موجة نصفية تستخدم فى صور شتى لأجهزة صغيرة متعددة المدى تصلح لكلا التيارين المتردد والمستمر . وفى هذه الدائرة ، يقوم الدايدود D1 بتقوية المقياس خلال نصف دورة من موجة التيار المتردد ، لكن التيار يمر فى المقياس خلال النصف الآخر من الدورة عن طريق D2 . ويوضح شكل ١٦ - ٦ [ب] دائرة مقوم للموجة الكاملة . وغالباً ما تتم معايرة الاجهزة متعددة المدى لتستخدم مع 50 Hz إلا أنه من الممكن استخدام أنواع جيدة من هذه الاجهزة لمدى الترددات التى تبدأ من 15 Hz إلى 15 KHz .

مدى قياسات المقاومة : من الممكن قياس قيمة المقاومة المجهولة بتحديد مقدار التيار المار بالمقاومة إذا ما تم توصيلها لمصدر جهد . ويوضح شكل ١٦ - ٧ فكرة عمل كثير من دوائر الأوميتر . فبيان حرف الصفر O باللغة الانجليزية فوق تدريج الأوم للجهاز تتمشى مع تلك الحالة التى يمر بها تيار يعطى انحرافاً عبر كل المقياس . ويتم ضبط وضع صفر الجهاز بأحداث قصر عبر طرفى الاختبار للجهاز مع ضبط منزلق مقياس الجهد RV حتى يظهر المؤشر انحرافاً عبر كل المقياس أى يشير إلى الصفر فوق تدريج الأوم [ب] . فإذا ما تم توصيل مقاومة مجهولة R_x لطرفى اختبار الجهاز فان قيمة المقاومة تظهر فوق مقياس مدرج بقيم المقاومات .





شكل ١٦ - ٦ ترتيبية مبسطة لدائرة مقوم موجة نصفية [ب] دائرة موجة كايعة .



شكل ١٦ - ٧ دائرة أومر أساسية

مقاييس الاختبار متعددة المدى : المقياس المتعدد هو جهاز اختبار متعدد الاستعمال ، بحيث يسمح بقياس مدى واسع من القيم للتيار والجهد والمقاومة . وتتم هذه العمليات في العادة عند زوج من أطراف الجهاز ، حيث يوضع المقياس طبقا للكيفيات المختلفة بواسطة مفاتيح فوق غطاء الجهاز .

ويبلغ طول مقياس الجهاز من النوع الجيد حوالي 125 ملليمتر ، ويتضمن

المقياس مرآة لتمكين مستخدم الجهاز من محو القراءات الخاطئة نتيجة اختلاف المنظر وقد تكون حدود المدى الشائعة هي

الجهد [للتيارين المتردد والمستمر] — 1000 V و 300 V و 100 V و 30 V و 10 V و 3 V و 1 V .
التيار [تيار مستمر] 10 A و 1 A و 100 mA و 10 mA و 1 mA و 300 μ A و 50 μ A .

التيار [تيار متردد] — 10 A و 1 A و 100 mA .

المقاومة — ثلاثة حدود للمدى 0-20 M Ω و 0-0.2 M Ω و 0-2 k Ω [المدى المعتاد أو مدى « اوم »] (ohms) [هو المدى 0-0.2 M Ω] .

ويمكن مد حدود المدى الموضحة عاليه بواسطة مضاعفات ومجزئات ومحولات تيار .

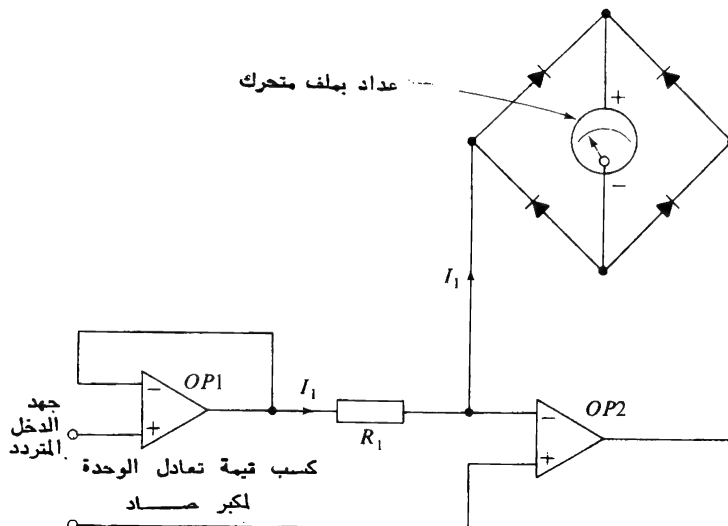
وتوصل البطارية الداخلية بحيث يتخذ الطرف بالعلامة "+" قطبية سالبة، ويتخذ الطرف بالعلامة "-" قطبية موجبة ، وذلك اذا وصل الجهاز طبقا لمدى اوم ، ففي حالة توصيل مقاومة بين طرفى الجهاز تكفل هذه القطبيات مرور التيار داخل الطرف "+" من الجهاز ليكفل بدوره انحراف المؤشر فى الاتجاه الصحيح . وعند التوصيل لمدى « اوم » فان قيمة المقاومة الداخلية لجهاز يشبع استعماله من النوع الجيد تبلغ حوالى 2 k Ω بينما تبلغ قيمة الجهد الطرفى عند فتح الدائرة حوالى 1.6 V .

١٦ - ٣ أجهزة الفولتميتر الالكترونية

عند اخذ القياسات فى الدوائر الالكترونية ، فان للنوع التقليدى من الاجهزة متعددة المدى عيوب متعددة منها الاستجابة الترددية المحدودة وصغر قيمة مقاومتها الداخلية نسبيا . كما وان الاجهزة متعددة المدى غير صالحة وعلى وجه العموم ، لقياس قيم الجهد الصغيرة جدا .

وتتلخص اجهزة الفولتميتر الالكترونية ، والتي تحتوى مكبرات ، من الصعوبات، الموضحة عاليه اذ يبلغ عرض نطاقها عادة بضعة ملايين من الهرتز ومن الممكن ان تصل قيمة المقاومة الداخلية الى 10 M Ω او اكثر . ولعظم اجهزة الفولتميتر الالكترونية المستخدمة فى الاغراض العامة حدود للمدى ابتداء من 1 mV عند الانحراف عبر كل المقياس الى 500 V عند الانحراف عبر كل المقياس ، بالنسبة لكل جهاز . ويتم تدريج مقاييس التيار المتردد لهذه الاجهزة على اساس اداء القياسات لموجات جيبية فاذا لم يكن هذا هو الحال ، تصبح القراءات غير دقيقة . ويبدو انه فى حالة الاجهزة المعقدة التركيب [قراءة الج.م.م الحقيقية ، يمكن الحصول على قراءة ج.م.م حقيقية فى حالة الاشكال الموجية اللاجيبية .

ويوضح شكل ١٦ - ٨ فكرة عمل واحد من اشكال الفولتميتر الالكتروني والذي يستخدم اثنين من المكبرات التشغيلية . ويتم توصيل OP 1 بهيئة



شكل ١٦ - ٨ أساس عمل واحد اشكال الفولتميتر الالكتروني ذي مقاومة الدخل المرتفعة

تابع جهدي ، ليعطي كسب جهد تبلغ قيمته الوحدة مع معاوقة دخل لها قيمة عالية جدا . ويمثل المكبر OP2 قلب الجهاز النابض ، فالتيار I_1 ، والذي يمر في R_1 ، يمر ايضا خلال المقياس بالملف المتحرك . فعند قياس كميات تتعلق بالتيار المستمر ، واذا كانت قيمة R_1 تعادل $10\text{ k}\Omega$ ، فان تيار المقياس يصبح 0.1 mA لكل وحدة فولت مسلطة عند الدخل . وعند قياس كميات تتعلق بالتيار المتردد ، ينبغي تغير قيمة R_1 لتصبح $9\text{ k}\Omega$ حتى تعطى قيمة متوسطة لتيار المقياس تعادل 0.1 mA لكل وحدة فولت ج.م.م مسلطة عند الدخل . ومن الواضح ان قيمة R_1 قد غيرت حتى يمكن أخذ عامل الشكل للموجة الجيبية في الاعتبار .

١٦ - ٤ مرسومات أشعة الكاثود للتنبؤات

تمثل أنبوبة أشعة الكاثود قلب الجهاز النابض حيث يؤدي شعاع من الالكترونات الى ظهور نقطة مضيئة فوق شاشة الانبوبة الفلورية [انظر شكل ١٦ - ٩] . وعن طريق التحكم في حركة النقطة في كل من اتجاهي X ، Y اى أفقيا ورأسيا على التوالي [، يمكن رسم الاشكال الموجية فوق وجه الانبوبة .

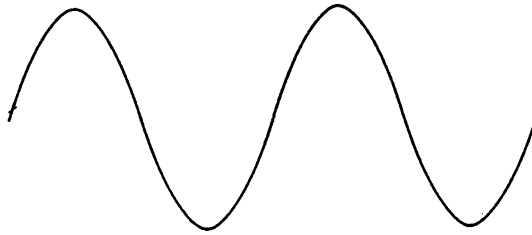
ويتم توصيل الاشارة المراد عرضها لمكبر Y عن طريق المفتاح S1 في شكل ١٦ - ٩ . وفي الوضع الموضح ، تنقل الاشارة خلال المكثف C_1

۲۸۲

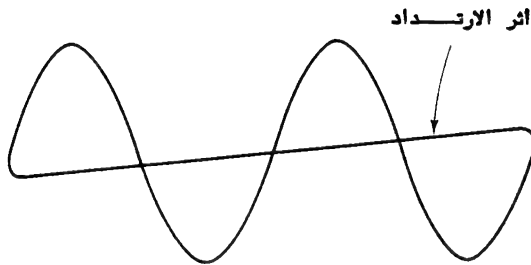


يتم توصيل S1 للوضع d.c عند تسليط الإشارة المؤلفة الى المكبر . ويسلط الخرج من المكبر Y- الى لوحى انحراف Y- ، مما يؤدي الى انحراف الشعاع الالكتروني بالانبوبة في الاتجاه Y- بمقدار يتناسب مع شدة الجهد المسلط بين اللوحتين . ويتم ايضا تسليط الخرج من هذا المكبر على دائرة قاعدة الزمن عن طريق مكبر بدء ذى وظائف سيتم سردها فيما يلي:

ويتولى جزء الجهاز الخاص بقاعدة الزمن توليد عدد من الاشكال الموجبة لعل أهمها هو الشكل الموجى لقاعدة الزمن والذي يتمثل فى موجة سن المنشار المضمنة فى القطعة (i) شكل ١٦ - ٩ . وتستخدم هذه الموجة لتسبب انحرافا للشعاع الالكتروني داخل الانبوبة فى اتجاه X- ويتولى جزء الجهاز الخاص بقاعدة الزمن بالإضافة ، توليد الموجة النبضية المضمنة فى القطعة (ii) شكل ١٦ - ٩ ، حيث يتم تسليطها على شبكة الانبوبة عبر C_2 وتعرف الموجة النبضية ايضا ، باسم الموجة النبضية الماسحة ، والفرض منها الاقلال من تألق النقطة المضيئة فوق الشاشة الى درجة الصفر فى الفترة بين نهاية كل مسح فى اتجاه X- وبداية المسح التالى . وتسمح هذه الخاصية للمشاهد أن يرى موجة الدخل فقط معروضة فوق الشاشة . ويوضح جزء الشكل ١٦ - ١٠ [١] ، [ب] عرضين مألوفين باجراء عملية مسح وبدون اجراء اى مسح على التوالى .



[١]



[ب]

شكل ١٦ - ١٠ عرض الاشكال الموجية [١] مع تسليط نبضات للمسح ، [ب] بدون تسليط نبضات للمسح .

ويتم التحكم فى المعدل الذى تسمح به النقطة المضيئة شاشة الانبوبة عن طريق تغيير ميل الشكل الموجى لقاعدة الزمن . فكلما زاد الميل .

كلما زادت سرعة مسح النقطة المضيئة عبر الشاشة . ويتم التحكم فى ميل الشكل الموجى لقاعدة الزمن بدوره ، بواسطة دائرة مقاومة ومكثف ، حيث يتاح بضابط لها فوق واجهة الجهاز [انظر شكل ١٦ - ١١] .

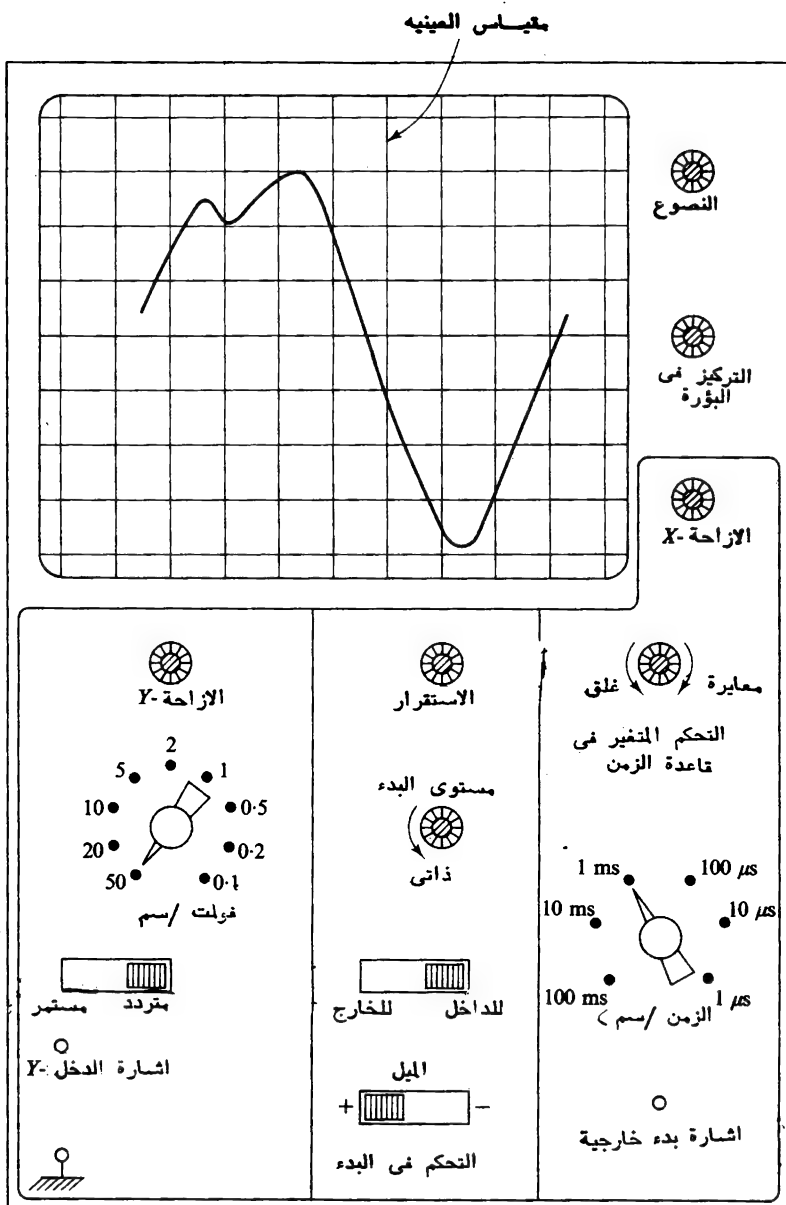
وفى أثناء متابعة الاشكال الموجية ، فمن الانسب دفع قاعدة الزمن لانتداء عملية المسح عندما يصبح معدل التغير موجب الاشارة . ويوجد مفتاح [S 3 فى شكل ١٦ - ٩] لمعظم مرشحات التذبذبات يسمح تنفيذ هذا الانتقاء . وقد يكون بدء تشغيل قاعدة الزمن عندما يكون ميل الاشارة الواردة سالبا ، ومن الممكن انتقاء هذا البدء بواسطة نفس المفتاح . ويقع هذا المفتاح اسفل لوحة التحكم الوسطى فى شكل ١٦ - ١١ ، وقد وضعت عنده علامة « + » ، « — » لتشير الى ميل الموجة المعروضة عند لحظة بدء عملية مسح قاعدة الزمن . وحيث أن المفتاح فى شكل ١٦ - ١١ هو عند الوضع « + » ، فان الاثر المعروض يبدأ عند معدل موجب .

غالبا ما يتطلب الامن ان يتزامن العرض فوق الشاشة مة الاشارة المراد مشاهدتها — وتوجد بعض الحالاتحتى يصبح من المرغوب فيه بدء الشكل الموجى لقاعدة الزمن من مصدر اشارات منفصل . وقد زود فى شكل ١٦ - ١٠ ما يسمح بتحقيق هذا الوضع بواسطة المفتاح . اذ انه يسمح بتحول مهمة التحكم فى دائرة قاعدة الزمن اما الى الاشارة الواردة او الى اشارة اخرى خارجية .

ويوضح شكل ١٦ - ١١ الواجهة الامامية لنوع مألوف لمرسمات التذبذبات ولمعظم مرسمات اشعة الكاثود للتذبذبات مقياس مدرج [يعرف باسم مقياس العينية] ويبدو فوق شاشة بلاستيك شفافة فى مقدمة أنبوبة اشعة الكاثود [الشاشة] . ويسمح هذا باستخدام مرسمة اشعة الكاثود لتذبذبات كجهاز لقياسات . وتتعلق المضابط فى اسفل يسار الواجهة بالمكبر Y ، وتحتوى مفتاحا للتيارين المتردد والمتغير [S1 فى شكل ١٦ - ٩] ، مع مضبط للكسب — Y [تحت علامة Volts/CM] وضبط الزحزحة — Y . والغرض من مفتاح VOLTS/CM هو تغير كسب جهد المكبر — Y حتى يمكن متابعة الاشارات الصغيرة او الكبيرة المقدار . وفى الوضع المبين 50 V/cm [يمكن التحقق من جهد بين القمتين مقداره

$$50 \text{ V/cm} \times 8 \text{ cm} = 400 \text{ V}$$

ويسمح هذا بالتحقق من الشكل الموجى لجهد المصدر 220 V ج.م.م. يصبح الجهد بين القمتين فى هذه الحالة $679 \text{ V} = 240 \times \sqrt{2}$ [فاذا ادير مفتاح الـ VOLTS/CM الى وضعه الـ 0.1 ، فان هذا يؤدى الى انحراف — Y كلى مقدار 1 cm عند اشارة 100 mV بين القمتين . ويستطيع مشغل الجهاز أن يزحزح كل الاثر اما الى اعلى او الى اسفل فى الاتجاه — Y بواسطة المضبط — Y المتغير .



شكل ١٦ - ١١ الواجهة الامامية لرسمه تخطيطات مألوفة بحزمة موجية واحدة .

وتسمح المضابط المتغيرة تحت الكتابات **TRIGGER LEVEL**, **STABILITY** عند منتصف الواجهة ، لمشغل الجهاز أن ينتقى نقطة البدء للموجة المعروضة. وعند الاستخدام العادى ، يدار مضبط الـ **Trigger level** الى وضع **AUTO** ، وفى هذا الوضع ، يمكن التحكم فى البدء بضبط وضع مفتاح انتقاء بدء الميل [بين علامتى « + » ، « — »] .

وتحتوى الواجهة اليمنى من مرسمة اشعة الكاثود للتذبذبات مضابط قاعدة الزمن شاملة VARIABLE CONTROL ومفتاح Time/cm . وتكون تدريجات قاعدة الزمن عند مفتاح Time/cm صحيحة فقط فى حالة ادارة الـ VARIABLE CONTROL الى وضع Calibrate الخاص بها . فاذا تم ضبط الـ Time/cm الى 1ms وادير مضبط Variable الى Calibrate .

فار، دورة واحدة من اشارة بتردد 10 Hz تكاد تكفى لشغل 10 cm فقط فى الاتجاه الامنى [أو X] . ويسمح الـ X-shift المتغير لشغل الجهار أن يزحزح كل الاثر اما الى اليسار او اليمين — فوق الشاشة وفى بعض الاستخدامات ، يصبح من الضرورى قفل مولد قاعدة الزمن . وقد ادمج مفتاح فى الـ Time base Variable Control لهذا الغرض .

ولتكلمة وصف المضابط ، قد ادمجت مضابط BRIGHTNESS والـ FOCUS فى اعلى واجهة الجهاز . وتسمح هذه المضابط بتحقيق الاغراض المذكورة . أى انها تسمح لشغل الجهاز . بتغيير سطوح ودرجة التركيز على التوالى ، للنقطة المضيئة ، [او الاثر] فوق الشاشة . وفى معظم الاجهزة قليلة التكلفة ، يؤثر كل من هذين المضبطين فى بعضهما البعض بحيث تؤدى زيادة السطوع الى تقليل درجة التركيز . ويتطلب الامر ضبط كلا المضبطين فى نفس الوقت للحصول على أثر حاد وبالوميض الصحيح .

١٦ — ٥ استخدام مرسمة التذبذبات كجهاز للقياسات

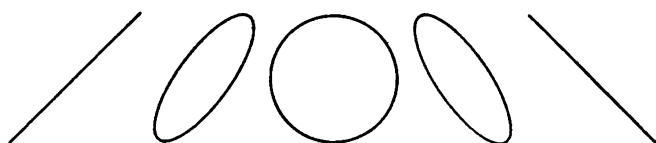
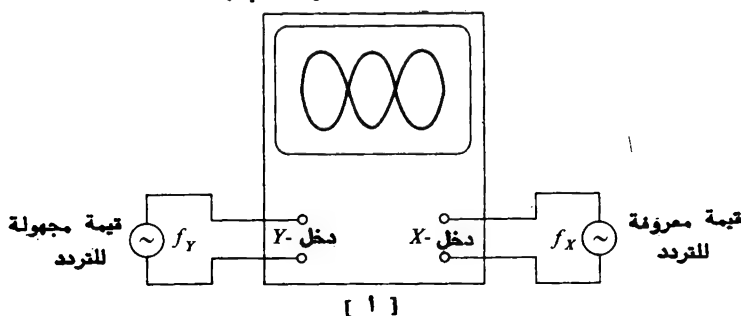
ان اكثر استخدامات مرسومات التذبذبات على وجه الاطلاق هو للمتابعة العامة للأشكال الموجية فى الدوائر . وعادة يبلغ عرض نطاق مرسومات اشعة الكاثود للتذبذبات قليلة التكلفة حوال 10 MHz — 2 ، ويعتبر هذا كافيا لسد احتياجات معظم مستخدمى الجهاز .

وعندما يستخدم لقياس الفترات الزمنية ، يصبح من الضرورى أولا أن يتم معايرة قاعدة الزمن باستخدام مصدر ترددات معلومة . ولكثير من الاجهزة بالداخل مصدر اشارة سبق معايرته بكل دقة . فاذا لم يكن هذا هو الحال ، فان مصدر تغذية التيار المتردد يعتبر على درجة معقولة من الدقة بحيث يمكن استخدامه كاشارة معايرة . فاذا كان تردد المنبع 50 Hz ، ومع ضبط مفتاح الـ Time/cm عند 10 ms/cm فمن اللازم ان تظهر خمس دورات كاملة لشكل مصدر الجهد الموجى فى عرض قدرة 10 cm من المقياس العيى .

ومن الممكن تحديد تردد اشارة موجية بتوجيه الجهاز لكى يولد اشكالا للاثر تعرف باسم اشكال ليساجوس . ومن أجل هذا تنقل قاعدة الزمن ويتم توصيل التردد الجهول لدخل — Y من مرسمة التذبذبات [انظر شكل

١٦ - ١٢ [١] . ويتم توصيل مذبذب ثان معروف التردد ، الى لوحى X من مرسمة اشعة الكاثود للتذبذبات ، كما هو موضح بالشكل . ويعتمد الاثر الناتج فوق الشاشة على النسبة بين الترددين وكذلك على علاقات الطور بينهما . فاذا كانت النسبة بين الترددين وكذلك على علاقات الطور بينهما . فاذا كانت النسبة بين الترددين ، f_X و f_Y تساوى ١ : ١ [انظر شكل ١٦ - ١٢] ب [فان الشكل المرسوم فوق الشاشة يصبح خطا مستقيما او قطعنا ناقصا او دائرة . ويعتمد ظهور أى شكل من هذه الأشكال على قيمتى الاشارتين النسبية وعلى زاوية الطور بينهما . وتخفص نسبة تردد مقدارها ١ : ٢ نماذج شكل [ج] ، وتخفص نسبة تردد ٢ : ٣ النماذج المبينة فى شكل [د] .

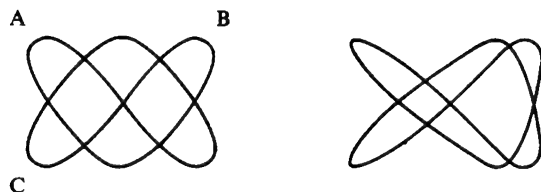
مرسمة اشعة الكاثود للتذبذب



[ب] $f_Y : f_X = 1 : 1$



[ج] $f_Y : f_X = 2 : 1$



[د] $f_Y : f_X = 3 : 2$

شكل ١٦ - ١٢ [١] شكل دائرة تستخدم للحصول على اشكال ليسانجوس ، [ب] ، [ج] و [د] تخضع انواع متنوعة للمعرض

وتحدد النسبة بين قيمتى هذين الترددين من الشكل المعروض كما يلى :
[انظر شكل ١٦ - ١٢ د] .

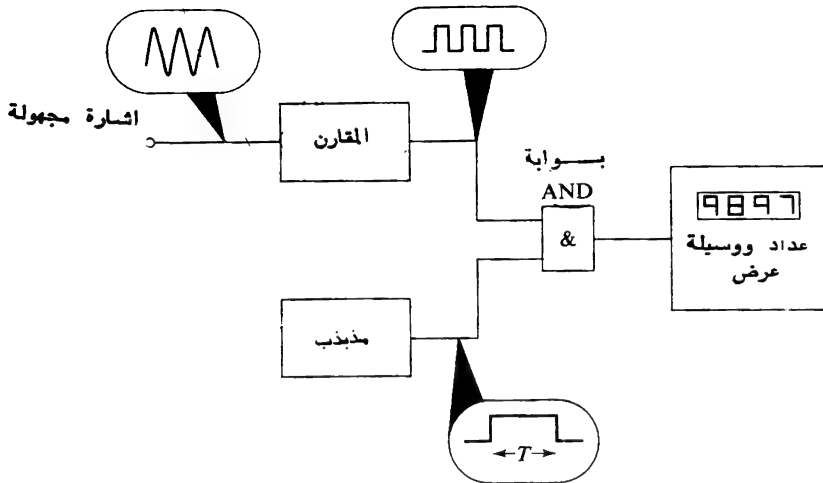
$$\frac{f_Y}{f_X} = \frac{\text{عدد الحلقات بين A و B}}{\text{عدد الحلقات بين A و C}}$$

ومن النادر أن يكون شكل الاثر مستقرا لاي من الزمن ، حيث أن زاوية الطور بين الاشارتين تتغير ببطء . ففي حالة نسبة مقدارها 1 : 1 بين الترددين ، قد يتغير الشكل ببطء من الخط المستقيم فى يسار شكل [ب] الى شكل قاطع ناقص ثم الى اشكال دائرية حتى يصل الى شكل الخط المستقيم الموضح فى يمين الشكل . وقد تعود بعدئذ ببطء لشكلها الاصلى .

١٦ - ٦ الاجهزة الرقمية لقياسات التردد والزمن

بالرغم من امكانية قياس التردد وفترة الزمن باستخدام مرسمة اشعة الكاثود للتذبذبات ، فان دقة القياسات تعتبر محدودة . فكلما تطلب الامر قياسات على درجة عالية من الدقة لهذه الكميات ، فمن المعتاد استخدام الاجهزة الرقمية .

ويوضح شكل ١٦ - ١٣ فكرة عمل مقياس التردد الرقمى . فلقياس قيمة التردد المجهولة ، يحول الشكل الموجى اولا الى مجموعة من النبضات بواسطة العنصر المقارن فى الدائرة . اذ يسمح بدخول النبضات الخارجة من المقارن الى

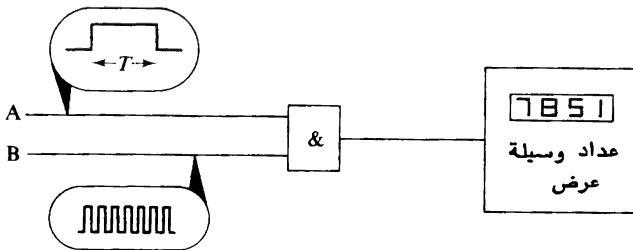


شكل ١٦ - ١٣ ، بيان اجيالى لجهاز شائع لقياس التردد

دخل العداد عن طريق بوابة « و » ، والتي يسلط عند دخلها اشارة دخل اخرى من مذبذب ذى تردد على قدر كبير جدا من استقرار التذبذبة .

وتستخدم فترة زمن مولد النبضات الميكانيكي "T" كفترة حازة « يتم خلالها أخذ عينات مجموعة النبضات المعطاة من التردد المجهول . فاذا انتج مصدر الإشارة تحت الاختبار 9897 ونبضة في الثانية واستغرقت الفترة T الإشارة المذبذب زمنا قدره ثانية واحدة ، فان العداد يظهر عند نهاية الفترة 9897 . وفي المعدات التجارية ، تكرر عملية العد بطريقة مستمرة ، وتتغير القيمة التي تظهر مع تغير التردد المراد قياسه .

ويوضح الشكل الاجمالي ١٦ - ١٤ فكرة عمل نوع آخر من الاجهزة يسمى باسم عداد الوقائع . اذ يعد هذا الجهاز عدد الحوادث B التي تحدث خلال فترة زمنية معينة عند الدخل A . وقد تستخدم ، مثلا ، لتحديد عدد الوحدات التي تمر بنقطة معينة في خط الانتاج خلال فترة زمنية معينة . وتفتح الإشارة عند الخط A بوابة « و » خلال زمن قدره T يتم خلاله عد النبضات المسطرة على الخط B . ومن الممكن توليد هذه النبضات بواسطة محول طاقة مناسب في خط الانتاج .



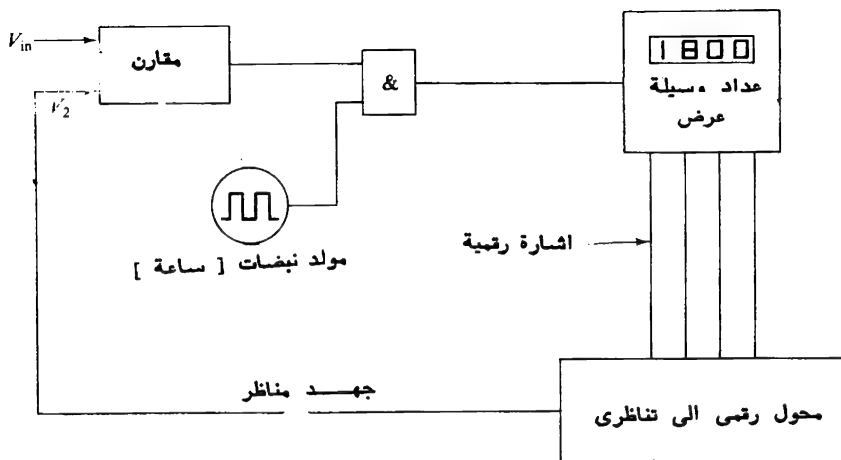
شكل ١٦ - ١٤ بيان اجمالي لعداد وقائع

١٦ - ٧ وحدات الفولتميتر والمقاييس متعددة المدى

تصنع اشكال شتى من اجهزة الاختبار وتشمل وحدات الفولتميتر والميلى اميتر والاميتر مع مقاييس التردد ووحدات التوقيت التي سبق ذكرها .

وينبغي اتخاذ الحيطة عند انتقاء جهاز رقمي ، حيث قد تكون المواصفات مضللة . اذ يعين العرض المقدم بدلالة عدد الارقام المئوية ، فمثلا تستطيع بعض الاجهزة بأربعة « نوافذ » أن تعطي أقصى رقم يمكن قراءته يساوي 9999 ، وبينما يبلغ في البعض الاخر يبلغ أقصى رقم يمكن قراءته 1999 فقط . وفي العادة تبلغ دقة معظم الاجهزة الرقمية ± 1 الرقم عند طرف المقياس الاقل أهمية .

ويصنع عدد من الانواع الاساسية ووحدات الفولتميتر الرقمية (d.v.m) ويبين شكل ١٦ - ١٥ بيانا اجماليا لنوع منها . وفي هذه الحالة ، يسلط جهد الدخل V_{in} مجهول القيمة على المقارن ومعه جهد آخر V_2 . فعندما تزيد قيمة V_{in} عن قيمة V_2 ،

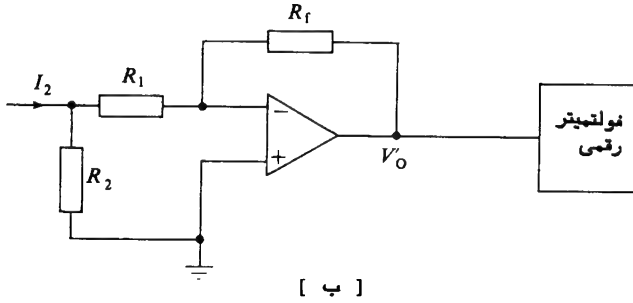
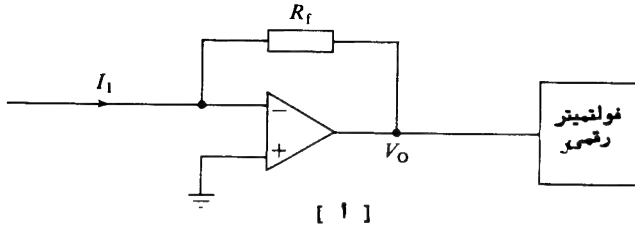


شكل ١٦ - ١٥ بيان اجمالى لواحد من أنواع الفولتميتر الرقمى

يكون الخرج اشارة منطق « ١ » التى تفتح بوابة « و » فى الشكل لتكن $V_{in} = 18\text{ V}$ ، $V_2 = 0$ ، بصفة مبدئية . ففى هذا الوقت يصبح خرج المقارن منطق (1) الذى يسمح بتسليط نبضات من اشارة الساعة للعداد وطبقا لسرعة تسليط نبضات الساعة الى العداد ، يتم عدّها وعرضها فى التو . وفى نفس الوقت ، يتم تسليط خرج العداد لمحول رقمى — الى — تناظرى ، والذى يحول القيمة الرقمية الى جهد كهربائى V_2 . فاذا ما انتج المحول الرقمى — الى — تناظرى جهد خرج قدره 0.01 V — لكل رقم يعرض العداد ، فان الخرج V_2 من المحول يساوى 18 V ، بعد انتهاء عد 1800 نبضة . وعندما يحدث هذا الوضع ، $V_2 = V_{in}$ ويتناقص خرج المقارن الى الصفر . ويؤدى هذا الى تقييد تشغيل بوابة « و » ، ويمنع المزيد من النبضات من تسلط الى العداد . ومن الممكن بعدئذ معايرة القراءة المعروضة بدلالة جهد الدخل . ويعتمد وقت التحويل النهائى على تردد المصدر المغذى للساعة فاذا بلغ هذا التردد 1 kHz ، فانه يلزم 1.85 لانتهاء القراءة مع جهد دخل مقداره 18 V فاذا كان تردد الساعة 100 kHz فسوف يلزم 0.0185 فقط .

القياسات الرقمية للتيار : يوضح شكل ١٦ - ١٦ [١] دائرة مناسبة

لقياس قيم صغيرة جدا من التيار فى المدى من حوالى 10 nA ($1\text{ nA} = 10^{-9}\text{ A}$) الى حوالى 1 mA . ويسلط التيار المراد قياسه ، الى دخل مكبر تشغيلى ، ونظراً للكسب المكبر التشغيلى المرتفع ، يمر هذا التيار خلال المقاومة R_f . ويصبح مقدار خرج المكبر التشغيلى هو $I_1 R_f$ من وحدات الفولت . فاذا كانت $R_f = 10\text{ k}\Omega$ وكانت قيمة التيار المقاس تساوى 0.1 mA ،



شكل ١٦ - ١٦ العرض الرقمي للتيار لى [أ] قيم صغيرة جدا للتيار [ب] قيم اعلى للتيار

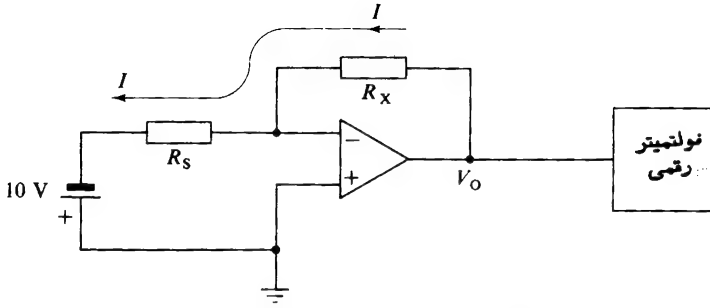
فان مقدار جهد الخرج من المكبر التشغيلى يصبح 1 V ويسلط هذا الجهد على فولتميتر رقمى ، مما يؤدي الى معايرة قراءة قدرها 1 V لتيار قيمة 0.1 mA .

ويمكن استخدام الدائرة الموضحة فى شكل ١٦ - ١٦ [ب] لقيم اعلى للتيار | حتى حوالى 1 A . وتصبح قيمة جهد الخرج من المكبر التشغيلى ، فى هذه الحالة كما يلى .

$$V'_0 = \frac{R_2 R_f}{R_1 + R_2} I_2$$

ومرة اخرى ، يمكن معايرة الجهد المعروض فى الفولتميتر الرقمى بدلالة التيار I_2 .

القياسات الرقمية للمقاومة : يمكن استخدام الفولتميتر الرقمى مع المكبر التشغيلى كما هو موضح فى شكل ١٦ - ١٧ ، ليعطى بيانا رقميا لقيمة R_x . وتصلح هذه الدائرة لقيم من المقاومة اكبر من حوالى $100\ \Omega$. تستخدم المقاومة R_x المجهولة القيمة فى حلقة التغذية المرتدة ، وتستخدم مقاومة قياسية R_s كمقاومة دخل . وتصبح قيمة التيار المار خلال كلتا المقاومتين كالآتى :



شكل ١٦ - ١٧ العرض الرقمي للمقاومة

$$I = \frac{10}{R_S} = \frac{V_O}{R_X}$$

لذا!

$$R_X = \frac{V_O}{10} R_S$$

فإذا كانت $R_S = 10 \text{ k}\Omega$ و $V_O = 1 \text{ V}$ فإن $R_X = 1 \text{ k}\Omega$. وبهذه الكيفية ،
يمكن معايرة قراءة الفولتمتر الرقمي بدلالة المقاومة .

مراجع لمزيد من القراءة :

Electrical Principles

N. M. Morris, *Electrical Circuits and Systems*, Macmillan, 1975

M. R. Ward, *Electrical Engineering Science*, McGraw-Hill, 1974

G. Stott and G. S. Birchall, *Electrical Engineering Principles*, McGraw-Hill, 1969

Linear Electronics

N. M. Morris, *Industrial Electronics*, McGraw-Hill, 1970

N. M. Morris, *Advanced Industrial Electronics*, McGraw-Hill, 1974

Digital Electronics

N. M. Morris, *Logic Circuits*, 2nd Edn, McGraw-Hill, 1976

N. M. Morris, *Digital Electronic Circuits and Systems*, Macmillan, 1974

Semiconductor Devices

N. M. Morris, *Semiconductor Devices*, Macmillan, 1976

Glossary قائمة بالمصطلحات !

Chapter 1

الفصل الاول :

Diffusion Current	تيار الانتشار
Drift current	تيار الانسياب
Hole	فجوة
leakage current	تيار التسرب
Charge carrier	حاملات الشحن
Current source	مصدر تيار
Electron	الالكترون
Majority charge carrier	الشحنات الكاملة ذات الاغلبية
n-type semiconductor	النوع السالب [س] الموصل
Nucleus	النواة
p-type semiconductor	النوع الموجب [م] تشبه الموصل
proton	بروتون
Resistance — temperature coefficient	معامل المقاومة الحرارى
Valence electron	الالكترون التكافؤ

Chapter 2

الفصل الثانى :

feed back	تغذية مرتدة
carbon composition resistor	مقاومة كربونية التركيب
carbon film resistor	مقاومة ذات غشاء كربونى
cermet potentiometer	مقياس الجهد السيرميتى
conductive plastic potentiometer	مقياس الجهد الموصل البلاستيك
cracked carbon resistor	مقاوم الكربون المتشقق

High stab carbon resistor	مقاومة كربونية ذات درجة استقرار مرتفعة
Rectilinear potentiometer	مقياس جهد خطى
Thick film resistor	مقاوم الغشاء [فيلم] السميك
Metal glaze resistor	مقاوم معدنى زجاج [مصقول]
Metal film resistor	المقاومة الغشائية المعدنية
Tolerance range	مدى التفاوت
voltage dependant resistor	مقاومة تابع الجهد
Wire wound resistor	مقاومة السلك الملفوف
Colour code	الرمز بالالوان

Chapter 3

الفصل الثالث :

Air dielectric capacitor	مكثف ذو عازل هوائى
Ceramic dielectric capacitor	مكاف ذو عازل خزفى
Device	نبطية
Mixed dielectric capacitor	مكثف ذو عازل مختلط
Electrolytic capacitor	مكثف الكترولينى
Letter code capacitor	رموز الحروف للمكثف
Metallized paper capacitor	مكثف ذو صحائف ورقية بمعنفة
Paper dielectric capacitor	مكثف ذو عازل ورقى
Permittivity	سماحية ثابت العزل
Silvered mica capacitor	مكثف الميكا المفضض
Plastic film dielectric capacitor	مكثف ذو غشاء البلاستيك العازل

Chapter 4

الفصل الرابع :

Magnetic screening	الحجب المغناطيسى
Choke	خائق
Dust core	قلب من البرادة
Eddy current	تيار دوامى

ferrite	فريت
Ferromagnetic material	مواد فيرومغناطيسية
Self Inductance	محاثة ذاتية
Laminated iron core	قلب من رقائق الحديد
Electrical Noise	تشويش كهربائي [ضوضاء]
Pot core	قلب الوعاء
Powdered iron core	قلب مسحوق الحديد
Magnetic saturation	التشبع المغناطيسي

Chapter 5

الفصل الخامس :

Alaternating waveform	شكل موجي متردد
Waveform analysis	تحليل الشكل الموجي
Waveform synthesis	تركيب الشكل الموجي
Angular frequency	تردد زاوى
Electromagnetic frequency spectrum	طيف التردد الكهرومغناطيسي
Harmonic	توافقي
Mark -to -space ratio	نسبة الاشارة الى المباعدة
Mean value of sinewave	القيمة المتوسطة للموجة الجيبية
Peak value	القيمة الذروية
Periodic time of a Wave	الزمن الدورى للشكل الموجي
Phase angle	زاوية الطور
Phase lag	طور متخلف
Phase lead	طور متعتم
Phasor	بيان علاقة الطور
Radian	زاوية نصف قطرية

Chapter 6

الفصل السادس :

Acceptor Circuit	دائرة متقبلة
Rejector circuit	دائرة رافضة

Capacitive reactance	مفاعلة سعة
Cut — off frequency	تردد قطع
Decibel (dB)	ديسيبل
frequency response curve	منحنى استجابة التردد
Parallel circuit	دائرة توازي
Impedance	معاوقة
Mutual Inductance	حث تبادلي
Power factor	معامل القدرة
Q-factor	معامل الجودة

Chapter 7

الفصل السابع :

Transformer	محول
Air core	قلب هوائي
Transient	مرحلة عابرة
Dot notation	علامة النقطة

Chapter 8

الفصل الثامن :

Centre-tap rectifier circuit	دائرة موحد ذو نقطة تفرع متوسطة
Enhancement-mode FET	المنوال التدعيمى للترانزستور التأثير الجالى
Field-effect transistor	ترانزستور تأثير المجال
Insulated-gate FET	ترانزستور التأثير الجالى ذو البوابة المعزولة
Spark quench diode	دايود الشرارة المطفأة
Break down	انهيار
Reverse	عكسى
Zener	زينر
Depletion region	منطقة استنفاد
Diac	دايك
Derating of	تناقص القدرة المقدرة المسموح بترسيبها فى الوصلات مع ازدياد درجة الحرارة المحيطة

Protection of Zener	وقاية الزينر
Flywheel diode	دايود تنظيم السرعة [حدافة]
Varactor diode	فاراكتور دايود [دايود تتغير سعته حسب الفولتية]
Varicap diode	فاريكاب دايود [دايود متغير السعة]
Forward bias	انحياز امامى
Thermal resistance	مقاومة حرارية

Chapter 9

الفصل التاسع :

Peak-point voltage	النقطة الذروية للجهد
Pinch-effect resistor	مقاومة تأثير التغير
Pinchoff voltage	جهد نهاية التغير
Common-base connection	توصيلة القاعدة المشتركة
Common-Collector Connection	توصيلة المجمع المشتركة
Cutt off operation	التشغيل فى حالة القطع
Insulated-gate field effect (FET)	ترانزستور التأثير المجالى ذو البوابة المعزولة
junction gate field effect (FET)	ترانزستور التأثير المجالى ذو البوابة الموصلة
Unijunction Transistor	ترانزستور احدى التوصيل
Current gain	كسب التيار
Early effect	تأثير مبكر
Field-effect transistor	ترانزستور التأثير المجالى
n-p-n transistor	ترانزستور م.م.س
p-n-p transistor	ترانزستور م.م.س
PUT	ترانزستور احدى الوصلة ببرمج
Numbering system of transistor	النظم العددية للترانزستور
h-parameter	بارامتر

Chapter 10

الفصل العاشر :

Photoelectric	كهروضوئى
Cold-cathode display	عرض بأشعة الكاثود
Display device	نبطية عرض
Dot matrix display	عرض مصفوف النقطة
Filament display, 7 — segment	فتيلة عرض ، ٧ — قطع
liquid crystal display	مبين السائل البلورى
Photo Diode	دايود ضوئى
Gas — filled display	مبين مملوء بالفاز
Light-emitting diode	دايود الانبعاث الضوئى
Optically coupled isolator	عازل التقارن الضوئى
Optoelectronics	الالكترونيات الضوئية
Phosphor diode display	مرسمة الدايدود الفسفورى
Photo conductive cell	خلية موصلية ضوئية
Photoemissive cell	خلية مبعثة للالكترونات تحت تأثير الضوء
Photo thyristor	ثايرستور ضوئى
Photo voltaic cell	خلية جهد ضوئية
Solar cell	خلية شمسية

Chapter 11

الفصل الحادى عشر :

Amplifier	مكبر
band width	عرض النطاق الترددى
Chopper	قطاع
Class A	طائفة A
Class AB	طائفة AB
Class B	طائفة B
Class C	طائفة C
Common — source	مصدر مشترك

Common — emitter	المطلق . المشترك
Direct coupled	التقارن المباشر
Operational amplifier	مكبر تشغيلي
Phase inverting	عاكسي الطور
Push — pull	دفعي وجذبي
Thermal runaway	انفلات حراري
Binary notation	الدلالة الثنائية
CMOS	اشباه الموصلات الاكسي معدنية المتتامة
Positive logic notation	اصطلاحات المنطق الموجب

Chapter 12 الفصل الثاني عشر :

Dual — in — line (DIL) package	تغليف مجموعة ثنائية الخطوط DIL
Film integrated circiut	دائرة غشائية متكاملة
Flatpack encapsulation	تغليف المجموعة المسطحة
Chip, Semiconductor	شريحة رقيقة ، اشباه الموصلات
Die, Semiconductor	قالب ، اشباه الموصلات
Epitaxial Layer	طبقة ابيتاكسيل [فوتية]
Integrated circuit	دائرة تكاملية
Film	غشاء
LSI	مقياس مكبر للدائرة التكاملية
Monolithic	قطعة واحدة
MSI	مقياس متوسط للدائرة التقليل
Packaging of	تغليف الـ
Substrate	قاعدة سفلية
Thick film circuit	دائرة النشاء السميك
Wafer, Semiconductor	رقاقة شبه موصلة
Monolithic integrated circuit	دائرة تكاملية ذات قطعة واحدة

Chapter 13

الفصل الثالث :

Phase splitting	شطر الطور
A stable multivibrator	متعدد الاهتزاز المتصل
Phase shift oscillator	مكبر ازاحة طورى
Relaxation oscillator	مذبذبة تراخ
Feedback amplifier	مكبر تغذية مرتدة
Gain — bandwidth product	حاصل ضرب عرض النطاق الترددى فى الكسب
Oscillator	مذبذب
Positive feedback	تغذية مرتدة موجبة
Pulse generator	مولد نبضات
Source follower	مصدر تابع

Chapter 14

الفصل الرابع عشر :

Difference amplifier	مكبر فرقى
Differential amplifier	مكبر تفاضلى
Backlash voltage	جهد التفتوت
Noise immunity	حصانة ضد التشويش
Virtual earth point	نقطة ارضية افتراضية
Voltage comparator	مقارن للجهد
Voltage follower	تابع الجهد
Operational amplifier	مكبر تشغيلى
Inverting amplifier	مكبر عاكسى

Chapter 15

الفصل الخامس عشر :

Burst firing control	التحكم فى تفجير الاشعال
Crowbar overvoltage protection	محل الوقاية من تزايد الجهد
Current limiting circuit	دائرة الحد من التيار

d-c link converter	مغير وصلة تيار مستمر
Delay angle	زاوية تعويق
Depletion region	منطقة استنفاد
Overcurrent protection for series regulator	منظم التوالى للوقاية من تجاوز التيار
Silicon controlled switch	المفتاح السليكونى المحكوم
Triac	ترايك
Zero-point firing	الاشعال عند نقطة الصفر
Zero-voltage firing	الاشعال عند جهد الصفر

Chapter 16

الفصل السادس عشر :

Cathode ray oscilloscope	أشعة الكاثود للمذبذبات
Digital measurement	قياسات رقمية
Digital voltmeter	فولتميتر رقمى
Audio frequency oscillator	مذبذب ذو ترددات سمعية
Blocking capacitor	مكثف مانع
Electronic voltmeter	فولتميتر الكترونى
Lissajous figures	اشكال ليساجوس
Multirange meter	مقياس متعدد المدى
Ohm meter	جهاز قياس المقاومة
Signal generator	مولد اشارة

الفهرس

١٧٨	استقرار حرارى
١٩٩ — ١٩٨	اشباه الموصلات الاكسى معدنية المتتامة
(انظر بوابة)	اشباه الموصلات الاكسى معدنية المتتامة
٢٧٠	اشعال الدورة الكاملة
٢٧٠	اشعال عند جهد الصفر
٢٧٠	اشعال عند نقطة الصفر
٢٨٨ — ٢٨٧	اشكال ليساجوس
١٩٢	اصطلاحات المنطق الموجب
	أكبر قدرة مبددة :
١٣٧	ترانزستور
١٢٨	دايود زينار
٥	اكثر الشحنات الحاملة ذات الاغلبية
١٥٣	الالكترونيات الضوئية
١	الكترون ١
١٣	الكترون التكافؤ
١٧٨	انحراف فى المكبرات
٢٨٤ — ٢٨٣	انحراف نقطى زمنى لمرسمة اشعة الكاثود للتذبذبات
١٠٦	انحياز أمامى
	انحياز عكسى
١٧٩	انفلات حرارى
١٠٧	انهيار
	عكسى
١٢٧ ، ١٠٧	زينر (Zener)
١٩٥	او (OR)
	او (OR) — للبوابة (انظر بوابة)
١٣٩	باراميتير — h

٢٢٠ — ٢١٩	باعث مشترك
٢٥٩ ، ١١١	بالوعة حرارة
١٩٤	بت bit
١	بروتون
٦	بوابة
(انظر بوابة)	بوابة منطقية
(انظر بوابة)	بوابة منطقية من اشباه الموصلات الاكسى معدنية
(انظر بوابة)	بوابة لاسماح او (NOR)
(انظر بوابة)	بوابة لاسماح و (NAND)
(انظر بوابة)	بوابة نفى (NOT)
(انظر بوابة)	بوابة « و » (AND)
١٤٢	بوابة وصلة ترانزستور التأثير الجالى
٧٠	بيان علاقة الطور
١٩٥	و (AND)
٢٤١	تابع الجهد
٢٢٢ — ٢٢١	تابع المصدر
١٣٩	تأثير مبكر
٢٠٩ — ٢٠٧	تجميع الدائرة المتكاملة
٢٦٣	تحكم فى الطور للثايرستور
٢٧٠	تحكم فى تفجير الاشعال
٧٦	تحليل الشكل الموجى
٦٧	تردد
٢٥٨	ترانزستور التأثير الجالى (FET) ذو بوابة معزولة
٧٦	تحليل الشكل الموجى
٢٦٦	ترايك
١٤٨	ترانزستور احدى التوصيل
١٤٩	قابل للبرمجة

١٤	ترانزستور أحادى القطب (انظر ترانزستور التأثير المجالى)
١٣٢	ترانزستور
١٤٩	أحادى التوصيل قابل للبرمجة
١٤٨	أحادى الموصل
١٤٠	التشغيل فى حالة القطع
١٤٠	التشغيل فى حالة التشبع
١٥٠	النظم العددية لـ
١٧٩	انفلات حرارى لـ
١٤٥	ترانزستور التأثير المجالى ذو البوابة الموصلة
١٤٢	ترانزستور التأثير المجالى ذو البوابة المعزولة
٢١	تغليف
١٣٦	توصيلة الباعث المشتركة
١٤٣	توصيلة المصدر المشتركة
١٤٢	توصيلة المجمع المشتركة
١٤٠	توصيلة القاعدة المشتركة
١٣٢ — ٣٤	سالب — موجب — سالب (n-p-n)
٤٦	نموئى
٢٠٤	مستو
١٣٢	موجب سالب — موجب (p-n-p)
١٣٢	وصلة ثنائية القطب ،
١٤٢	بوابة توصيل
١٤٨	شبه الموصل الاكسى معدنى
١٨٢	فى المكبر
١٨٥ — ٩١	تردد القطع
١٤٢	ترانزستور تأثير المجال
١٤٥	البوابة المعزولة
١٨٥	تردد تركبى

٧٣	تردد زاوى
١٥٩	ترانزستور ضوئى
٢٠٤	تركيب مستو
(انظر بوابة)	ترانزستور — ترانزستور — منطقى
٧٥ — ٦٥	تركيب الشكل الموجى
١٣٢	ترانزستور موجب — سالب — موجب (p-n-p)
١٩٩ — ١٩٨	ترانزستور — ترانزستور — منطقى
٢٤٨	تردد معادل
١٨٦	تشغيل المكبر على الطائفة (A)
١٨٧	تشغيل المكبر على الطائفة (B)
١٨٧	تشغيل المكبر على الطائفة (C)
١٩٠	تشغيل المكبر على الطائفة (AB)
٥٩	تشويش كهربائى (ضوضاء)
١٩٠	تشوه مفرقى (مشترك)
١٦٠	تشغيل الترانزستور فى حالة التشبع
٥٧	تشبع مغناطيسى
	تغذية خلفية للجهد (انظر مكبر التغذية الخلفية)
٢١٠	تغليف المجموعة المسطحة
١٩٠	تعاكس (منطقى)
١٧٩	تغذية مرتدة سالبة
٢٢٣ ، ٢١١	تغذية مرتدة موجبة
٢٧٠ — ٢٦٨	توصيلة توازى معكوسة
	تغذية خلفية توال (انظر مكبر التغذية الخلفية)
	تغذية خلفية على التوازى (انظر مكبر التغذية الخلفية)
٧٥	توافقيات
	تيار التغذية المرتدة (انظر مكبر التغذية المرتدة)
١	تيار الانسحاق
٢	تيار الانتشار

٥٧	تيار دوامى
	ثابت زمنى
٤٩	مكثف ومقاومة (RC)
٣٨	ملف ومقاومة (RL)
٢٥٥ — ١٥٧	ثايرستور
٢٦٣	تحكم طورى لـ
٢٧٠	تحكم فى تفجير الاشعال
٢٦٦ ، ٢٥٥	ثنائى الاتجاه
١٦١	ضوئى
٢٥٥	مانع عكسى
٢٦٦	وقاية من
(انظر ثايرستور)	ثايرستور ثنائى الاتجاه
١٦١	ثايرستور ضوئى
٣١ — ٣٢	ثرمستور
٢٤٤	جهد التفويت
١٤٦	جهد العتبة
٢٤٤	جهد تخلفى
٧٠	جذر تربيعى لمتوسط مربع القيمة (ج.م.م)
٢٧٩ — ٢٨٠	جهاز قياس المقاومة
٢٧٣	جهاز قياس الجهد والمقاومة (VOM)
٢٧٣ ، ٢٨١	جهاز قياس متعدد المدى
١٤٤	جهد نهاية التغير
٢١٩ ، ٢٣٩	حاصل ضرب نطاق التردد والكسب
٥٩	حجب مغناطيسى
١٧٢	حالة السكون
٥	حاملات الشحنة ذات الاقلية
١	حاملات الشحنة
٩٥	حث تبادلى

٢٤٤	حصانة ضد التشويش
٦٠	خائق
١٦١	خلية جهد ضوئية
١٦١	خلية شمسية
١٥٦	خلية ذات موصلية ضوئية
١٥٤	خلية انبعاث الالكترونات بتأثير الضوء
	دائرة اطارية (الدائرة الحلقية) — (انظر مكبر التغذية المرتدة)
٢٥٣	دائرة الحد من التيار
١١٧	دايود الشرارة المطفأة
١١٩	دائرة تسوية (ذات مرشح أمرار منخفض)
٨٩ — ٨٥	دائرة شميت للاطلاق
٩	دائرة توازي
٢٠١	دائرة تكاملية
٧	دائرة توالى
	دائرة موحد ذو نقطة تفرع متوسطة
١١٦	احادى الطور
١٢٢	ثلاثى الطور
١٣	دائرة نورتن المكافئة
٢٤٤	دائرة شميت للاطلاق
٢٦٨	دائرة المصده ، RC ، (المتصلة للصددمات)
١٢	دائرة ثيفننتر المكافئة
٢٠١	دائرة غشائية متكاملة
٢٠١	دائرة الغشاء (فيلم) السميك
٢٠١	دائرة الغشاء (فيلم) الرقيق
٢١٠	دائرة المقياس المتوسط المتكاملة
١١٤	دايود تنظيم السرعة
٨٩ ، ٨٨	دائرة متقبلة

١٠٥	١٢٧٤	٠٠	دايود زينار
١٦٤			دايود الانبعاث الضوئي
١٥٩			دايود ضوئي
١٣٠			دايود الانهيار ثنائي الاتجاه
٩٣	٩٤٤	٤٤	ديسبيل (dB)
			دايك
١٠٦			دايود
١٢٤			ازدياد درجة الحرارة المحيطة
			تناقص القدرة المقدرة المسموح ترسيبها في
			الوصلات مع
١٥٩			ضوئي
١١٤ — ١٠٧			زينر
١٢٧			وقاية الـ
			دائر
			نوائر مصغرة (انظر الدائرة المتكاملة)
١٩٤			دلالة ثنائية
٢٤٦ — ١١٧			دايود موحد
٢٠٢			رقاقة شبه موصلة
٤٦ — ٢٤			رمز بالالوان
			رموز الحروف
٢٤ — ٢٣			للمقاومة
٥٠ — ٤٩			للمكثف
			رنين
٨٦ — ٨٤			توازي
٨٩ — ٨٦			توالي
٨٨ — ٨٤			رنين توازي
٧٤			زاوية الطور
٢٦٢			زاوية تعويق

٦٧	زمن الذروى للشكل الموجى
٧١	زاوية نصف قطرية
٥	سائر الشحنات الحاملة ذات الاغلبية
٥٩	ساتر مغناطيسى (الحجب المغناطيسى)
١٣٤ ، ١٣٢	سالب — موجب — سالب (n-p-n) للترانزستور
٣٥	سعة
٣٦	سماحية (ثابت العازل)
٢٢٢ — ٢١٢	شبكة β
	شبه الموصل الاكسى معدنى
١٩٩ — ١٤٨	ترانزستور التأثير المحالى
٣	شبه موصل
٢٠٢	شريحة رقيقة ، اشباه الموصلات
٦٥	شكل موجى متردد
٢٠٦ — ٢٠٥	طبقة فوقية (ابيتاكسيل)
٧٤	طور متخلف
	طور متقدم
١٨٤ ، ٦٨	طيف التردد الكهرومغناطيسى
١٦٨	عازل التقارن الضوئى
٢٧١	عاكسى
	عرض النطاق الترددى
٨٣ — ٨١	دائرة رنين
١٦١	عرض بأشعة الكاثود
١٦٥ — ١٦٢	عرض بسبع قطع
١٦٦	عرض مصفوف النقطة
(انظر نطا ط S-R)	عنصر ثنائى الاستقرار
٢٠٤	عملية انتشارية
٩٠ — ١٠٠ ٩١ —	علامة النقطة
١٠١	
٢	فجوة

١٦٢	فتيلة عرض ٧ — قطع —
٥٧	فريت
٢٦٣ — ٢٨١ — ٢٨٢	فولتميتر إلكترونى
٢٩.	فولتميتر رقمى
	فولتميتر :
٢٨١	إلكترونى
٢٧٣ — ٢٨٢	تناظرى
٢٩.	رقمى
٢٠.٥ — ٢.٣ — ٢.١	قاعدة أو طبقة سفلية
٦	قانون اوم
٦.	قانون لينز
٢.٢	قالب ، اشهاد تلموصلات
٥٩	قلب الوعاء
٥٧	قلب حديد رقائقى
٥٧	قلب مسحوق الحديد
٥٧	قلب من البرادة
	قياسات رقمية :
١٧٩	للتردد
٢٩.	للجهد
٢٩٢	للمقاومة
٢٩١	للتيار
٦٨	قيمة ذروية
٧.	قيمة فعالة ، للموجة الجيبية
٢٢ ٠ ١٦	قيم مفصلة
١٤١ ٠ ١٣٩	كسب التيار
٢١.٠ ١٣٤ ٠ ١٣٣	كسب التيار
١٦٨	مبين السائل البلورى
١٦١	مبين مملوء بالغاز

١٦٨	مبين السائل البلورى
(انظر نطاط)	متعدد الاهتزازات ثنائى الاستقرار
٢١٠	مجموعة ثنائية الخطوط
٢٥٠	مرجع مصدر الجهد
	محنة :
٩٥	متبادلة
٥٦	ذاتية
٥٦	محنة ذاتية
٢٨٧ ، ٢٨٢	مرسمة أشعة الكاثود للتذبذبات
٩٥	محول
١٠٢	تردد سمعى
١٠١	قلب هوائى
١٠١	قلب حديدى
١٠١	مصدر قدره
١٠٣	نبضه
١٩٩	متعدد نطاط
٢٣١ ، ٢٢٩	متعدد الاهتزازات المتصل
٢٥٥	مخل الوقاية من تزايد الجهد
١٦	مدى التفاوت
٢٢٧	مذبذب المكثف مع الملف
٢٣٣ ، ٢٢٥	مذبذب
٢٢٦	مذبذب ازاحة طورى
٢٣١	مذبذب تراخ
٢٦٣	مذبذب ذو وتددات سمعية
٢٢٧ — ٢٢٩	مذبذب كولبيتس
٢٢٩	مذبذب متعدد التوافقيات (الطليق الحركة)
	مذبذب متعدد التوافقيات
٢٢٩	(الغير مستقر) طليق الحركة

(انظر نطاط)	ثنائي الحركة الطليقة
٢٥٥	مذبذب مانع عكسي
٢٢٦	مذبذب قنطرة فين
١٦٨	مرسبه الداوود الفسفور
١١٩	مرشح موجي (متردد نبضي صغير)
١٠٥	مرحلة عابرة (انتقالية) في
٤٩	عابر
١٤٨	مستمر الذاتية المباعدة
١١ — ١٣	مصدر تيار
٢٥٠	مصدر جهد للمقارنة (مقارن)
٢٧٣ ، ٢٤٩	مصدر القدرة ثابت الجهد
١١	مصدر جهد
٩٠	معاوقة
٩٣	معامل القدرة
٩٠ ، ٨٦	معامل الجودة Q
	معامل المقاومة الحرارى ٣ ، ٣١ ، ٢٧٥ (انظر
	ايضا المعامل الحرارية للمقاومة)
	معامل حرارى للمقاومة ١٧ (انظر ايضا معامل
	المقاومة الحرارى)
٢٧٢	مغير التردد
	مغير القيمة التناظرية الى القيمة الرقمية (انظر
	الفولتميتر الرقمى)
٢٧٢	مغير ، وصلة تيار مستمر
٨٣	مفاعلة سعوية
٣٠	مفرقات (مقاييس جهد) المسار الكربونى
٣١ ، ٣٠	مفرق (مقياس جهد) الموصل البلاستيك
٣١ ، ٣٠	مفرق (مقياس جهد) السيرميت
٦٣ ، ٥٥ ، ٥٢	مفاضل

٣٠	مفرق (مقياس جهد) حلزوني المسار
٨١	مفاعلة حثية
٣١ ، ٢٦	مفرق (مقياس جهد)
٥٥	مفاعلة
٨١	حثية
٨٣	سعووية
٢٧	مفرق (مقياس جهد) خطى
٢٥٥	مفتاح السيليكونى المحكوم
١٩	مقاومة السيرميت
١٨	مقاوم الكربون المتشقق
١٩	مقاومة الغشائية المعدنية
١٦	مقاومة الغشاء الاكسيدى
٢٠٤	مقاوم حساس للضوء
١٤٤	مقاومة — تأثير التغير
٢٠	مقاوم الغشاء (فيلم) السميك
٢١	مقاوم الغشاء (فيلم) الرقيق
١٢٤	مقاومة حرارية
٣٣	مقاوم تابع الجهد
٣٣	مقاوم تابع الجهد
١٦	مقاومة كربونية التركيب
١٩	مقاومة ذات غشاء كربونى
٢٤٤	مقارن للجهد
	مقاومة غشائية فيلم
١٩٦	مقاومة — ترانزستور — منطقى
١٩	مقاومة كربونية ذات درجة استقرار مرتفعة
٢٠٩	مقياس مكبر لدائرة تكاملية
٢٠٩	مقياس مكبر للدائرة التكاملية
٢٠	مقاوم معدنى زجاج

١٩	مقاومة عشائية اكس معدنية
	مقوم (موحد) :
١٢٣	الموجة الكاملة
٢٦٥	تحكم جزئى
٢٦٦	تحكم كامل
١١٧	ثنائى الطور
١٢٣ ، ١١٧	نو نقطة تفرع متوسطة
٢٦٥ ، ١٢٣ ، ١١٧	قنطرة
١٢١	متعدد الطور
١٢٣	نجم مزدوج
١٢١ ، ١١٢	نصف الموجة
١٢٠ ، ١١٢	وحيد الطور
١٩٥	مقاوم — الترانزستور المنطقى
٢٤٤	مقارن للجهد
٣٠ ، ٢١	مقاوم ملف سلكيه
٦٣ ، ٥٥ ، ٥٢	مكاملة ،
٢٤٨ ، ٢٤٦	

مكبر صاد (انظر الباعث التابع ، تابع المصدر —
الجهد التابع)

١٨٥	مكبر قطاع
١٧١	مكبر الباعث المشترك
١٨٣	مكبر الباعث المشترك
١٨٥	مكبر تيار مستمر
٢٤٣	مكبر تفاضلى
٢٤٣	مكبر فرقى
٢١١	مكبر تغذية مرتدة
٢١٨ ، ٢١٤	تيار
٢١٨ ، ٢١٤	جهد

حاصل ضرب عرض النطاق الترددى فى

٢٣٩ ، ٢١٩	الكسب
٢١٥ ، ٢١١	سالـب
٢١٨ ، ٢١٤	على التوازى
٢١٨ ، ١١٤ ، ٢١١	على التوالى
٢٣٩ ، ٢١٩	عرض النطاق الترددى
٢١٣ ، ٢١٢	كسب الـ
٢٢٣ ، ٢١١	موجب
٢١٦	متعدد المراحل
١٨٥	مكبر مـقرن مباشرة
١٧١	مكبر خطى
٢٣٨	مكبر عاكسى
٢٣٤ ، ٢٠٨	مكبر العمليات
١٨٦ ، ١٧١	مكبر القدرة
٢٢٣ ، ٢٢٢	مكبر شطر الطور
١٧٥	مكبر عاكسى للطور
٢٤٢	مكبر غير عاكسى
٢٤١	مكبر للتجميع
١٩١ ، ١٧٠	مكبر
١٧٩ ، ١٧٨	استقرار حرارى لـ
١٧٩	انفلات حرارى فى
١٧١	الباعث المشترك
١٨٤	التقارن المباشر
١٧٨	الانحراف فى
٢٤٣	الفرقى
٢٢٠ ، ٢١٩	الباعث التابع
١٩١	بدون محول
٢٤١	تابع الجهد

١٨٢	ترانزستور التأثير المجالى
١٨٦	تشغيلي
	تغذية مرتدة (انظر التغذية المرتدة الخلفية)
٢٤٣	تفاضلى
١٧١	جهد
١٧١	خطى
١٨٧	دفعى وجنبى
٢٢٢	شطر الطور
١٨٦	طائفة (A)
١٩٠	طائفة (AB)
١٨٧	طائفة B
١٨٧	طائفة C
١٧٥	عاكسى الطور
١٨٣	عرض النطاق الترددى
١٨٥	قطاع
١٨٦ ، ١٧١	قدرة
١٦٠ ، ١٥٩	كهروضوئى
٢٢٠	مصدر تابع
١٨٣	مصدر مشترك
١٧١	مفتاحى
١٨٥	مقرن مباشر
٢٨٢ ، ١٧٢	مكثف مانع
٣٤	مكثف
٤١	توصيل على التوازى
٤٢	توصيل على التوالى
٤٣	دائرة مكافئة لـ
٤٥	مكثف الكتروليتى
٤٥	مكثفات ذات عازل خزفى

٤٥	مكثف ذو عازل الميكا
٤٤	مكثف ذو عازل مختلط
٤٤	مكثف ذو صحائف ورقية معدنة
٤٤	مكثف ذو عازل ورقى
٤٤	مكثف ذو غشاء البلاستيك العازل
٤٥	مكثف الميكا المفضضة
٤٤	مكثف ذو عازل هوائى
١٩٥	مكمل منطقى
	منحنى استجابة التردد
٨٩ ، ٩٢	دائرة توازى
١٨٢ ، ٢٣٤	مكبر
١.٩	منطقة استنفاد
٢٥٣	منظم التوالى للوقاية من تجاوز التيار
٢٥٢ — ٢٥٥	منظم التوالى للوقاية من تاجوز الفولت
	منظم جهد (أنظر مصدر القدرة ثابت الجهد)
	موحد قنطرى
١١٧	احداى الطور
١٢٣ ، ٢٦٣	ثلاثى الطور
٥٧	مواد عالية الانفاذية المغنطيسية (فبرومغنطيسية)
٢٣١	مولد نبضات
٦٦	موجة اشريه (مثل سن المنشار)
٢٢٩ ، ٢٤٧	مولد الموجة المربعة
٦٥	موجة جيبيه
٢٧٣	مولد اشارة
١٦٧ — ١٦٠	نبيطة عرض ،
١٤٥	نسق استنفاد الترانزستور (بالتأثير المجالى)
٦٩	نسبة الاشارة الى الباعده

١٤٦	نسق الاطرادى
١٩٩	نطاط S—R
١٩٩ ، ١٩٦	لاسماح ، او (NOR)
١٩٤	نفى (لاسماح) (NOT)
١٥٨	نقطة انهيار
١١	نقطة تشغيل الترانزستور (انظر حالة السكون)
١٨٥	نقطة منتصف القدرة
١	نواه
٥	نوع السالب (n-type) لشبه الموصل
٥	نوع الموجب p لشبه الموصل
	وصلة ترانزستور (انظر الترانزستور ثنائى القطب)
	وصلة ترانزستور ثنائى القطب (انظر ترانزستور)
١٠٨	وصلة ثنائية
١٠٨	وصلة موجبة — سالبة P-N

